

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de la mezcla de bloques sostenibles utilizando residuos de caña de azúcar y su implementación en proyectos residenciales

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Nathalia Romina Aguirre Aguilar

Jean Alexander Zurita Salazar

GUAYAQUIL - ECUADOR

I PAO 2023

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, quienes me han guiado y apoyado en cada etapa de mi vida, y a mis hermanas y hermanos que siempre están para escucharme y sacarme una sonrisa.

Nathalia Aguirre Aguilar

El presente proyecto lo dedico a mis padres, por ser fuentes de inspiración y apoyo; a mis hermanos por la confianza y comprensión, y a todos mis compañeros y amigos, quienes me acompañaron durante esta etapa de mi vida.

Jean Zurita Salazar

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por acogernos y formarnos como profesionales, a la MSc. Samantha Hidalgo por guiarnos en la ejecución de este proyecto, a la MSc. Ingrid Orta por los consejos impartidos durante las clases. Adicionalmente, agradecemos al MSc. Daniel Falquez y al Ing. Arián Briones por el apoyo en las pruebas de laboratorio, y al MSc. Rafael Cabrera por facilitarnos el equipo necesario para la fabricación del producto.

Declaración Expresa

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Nathalia Romina Aguirre Aguilar y Jean Alexander Zurita Salazar damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Nathalia AguirreA.

Nathalia Romina Aguirre
Aguilar

A handwritten signature in black ink, reading "Jean Zurita", with a long, sweeping underline that extends to the right.

Jean Alexander Zurita
Salazar

EVALUADORES

.....
MSc. Ingrid Orta Zambrano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
MSc. Samantha Hidalgo Astudillo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La caña de azúcar es la materia prima comercializada por ingenios azucareros. Estos producen abundantes desechos orgánicos debido a la creciente demanda alimentaria derivada de la expansión demográfica. Este crecimiento poblacional implica una mayor exigencia de materiales de construcción para satisfacer la necesidad de vivienda. En este sentido, es viable reutilizar residuos agroindustriales como sustitución parcial de estos materiales, en concordancia con los ODS 11 y 12.

Se escogió el bloque hueco para evaluar el reemplazo parcial de sus componentes por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), cumpliendo con los estándares de la NTE INEN 3066. Se utilizó cemento, arena, agua y CBCA, y se analizó el comportamiento de morteros con reemplazos del 5%, 10% y 15%, para determinar la dosificación óptima. Se emplearon moldes de madera, metálico y una máquina bloquera, siendo esta última el procedimiento más factible en su fabricación.

Los bloques CBCA con una sustitución de arena del 15% presentaron resistencias a la compresión de 6.3 MPa y 8.5 MPa a los 7 y 28 días, respectivamente, con una densidad de 1859 kg/m³ y una absorción de 12.7%.

La resistencia a la compresión se ve afectada a medida que aumenta la proporción de CBCA, debido a que se utilizó todo el residuo sin someterlo a procesos de molienda que mejorarían su granulometría, para evitar desperdicios. A pesar de que el bloque CBCA tiene un costo de fabricación superior al tradicional, ofrece beneficios considerables en proyectos residenciales, en términos de durabilidad, confort y permeabilidad.

Palabras clave: Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), bloque, mampostería, sostenibilidad, residuo agroindustrial.

ABSTRACT

Sugarcane is the raw material marketed by sugar mills. These produce abundant organic waste due to the growing food demand resulting from population expansion. This population growth implies a greater demand for construction materials to satisfy the need for housing. In this sense, it is feasible to reuse agro-industrial waste as a partial replacement of these materials, in accordance with SDG 11 and 12.

The hollow block was chosen to evaluate the partial replacement of its components with sugarcane bagasse ash (SCBA), complying with the standards of NTE INEN 3066. Cement, sand, water, and SCBA were used, and the behavior of mortars with 5%, 10% and 15% replacements were analyzed to determine the optimum dosage. Wooden and metallic molds and a block machine were used, the latter being the most feasible procedure in its manufacture.

The SCBA blocks with a 15% sand substitution showed compressive strengths of 6.3 MPa and 8.5 MPa at 7 and 28 days, respectively, with a density of 1859 kg/m³ and an absorption of 12.7%.

The compressive strength is affected as the proportion of SCBA increases, because all the residue was used without undergoing milling processes that would improve its granulometry, to avoid waste. Although the SCBA block has a higher manufacturing cost than the traditional one, it offers considerable benefits in residential projects, in terms of durability, comfort and permeability.

Keywords: Sugarcane bagasse ash (SCBA), block, masonry, sustainability, agro-industrial wast.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Presentación general del problema	2
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1 Revisión de literatura.....	6
2.2 Área de estudio	10
2.3 Trabajo de campo y laboratorio	11
2.3.1 Caracterización de los materiales	12
2.3.2 Ensayos para bloques de hormigón	18

2.4	Análisis de datos	23
2.4.1	Cemento.....	23
2.4.2	Ceniza	26
2.4.3	Variables	32
2.5	Análisis de alternativas.....	33
2.5.1	Técnicos.....	33
2.5.2	Económico	35
2.5.3	Social	36
2.5.4	Ambiental	36
2.5.5	Estético	37
CAPÍTULO 3.....		38
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	38
3.1	Diseños	38
3.1.1	Caracterización de materiales.....	38
3.1.2	Impacto del uso de CBCA en propiedades mecánicas y reológicas de cementos comerciales en Ecuador.....	42
3.1.3	Evaluación de parámetros.....	45
3.1.4	Proporciones de diseño.....	51
3.1.5	Elaboración del bloque.....	55
3.1.6	Evaluación del bloque	61
3.1.7	Aplicación en proyectos residenciales.....	65
3.1.8	Discusión de resultados	67
3.2	Especificaciones técnicas.....	70
CAPÍTULO 4.....		74
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	74
4.1	Descripción del proyecto	74

4.2	Línea base ambiental	75
4.2.1	Medio abiótico	75
4.2.2	Medio humano	76
4.3	Actividades del proyecto.....	77
4.4	Identificación de impactos ambientales	78
4.5	Valoración de impactos ambientales	79
4.6	Medidas de prevención/mitigación	86
4.7	Conclusiones	88
CAPÍTULO 5.....		89
5.	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....	89
5.1	Costo Bloques CBCA	89
5.2	Costo Bloques comerciales	90
5.3	Costos iniciales.....	90
5.4	Beneficio a largo plazo	91
5.5	Costos operativos.....	91
5.6	Cálculo Costo – Beneficio.....	91
5.7	Análisis	91
CAPÍTULO 6.....		92
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ASTM	American Society for Testing and Materials
BCA	Bagazo de Caña de Azúcar
CBCA	Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

SIMBOLOGÍA

g	Gramo
kg	Kilogramo
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
µm	Micrómetro
MPa	Megapascal
N	Newton

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Nomenclatura de partes del bloque de hormigón	19
Figura 2.2 Resistencia a la Compresión Cemento GU	24
Figura 2.3 Resistencia a la Compresión Cemento HE	25
Figura 2.4 SEM de CBCA 200 μm	27
Figura 2.5 SEM de CBCA 100 μm	27
Figura 2.6 SEM de CBCA 100 μm	28
Figura 2.7 SEM de CBCA 50 μm	28
Figura 2.8 SEM de CBCA 50 μm	29
Figura 2.9 SEM de CBCA 50 μm	29
Figura 2.10 SEM de CBCA 50 μm	30
Figura 2.11 DSC - TGA de CBCA	31
Figura 2.12 XDR de CBCA	32
Figura 2.13 Parámetros de mezcla	32
Figura 3.1 Curva Granulométrica CBCA	38
Figura 3.2 Curva Granulométrica Arena	40
Figura 3.3 Resistencia a la compresión Escenario 1	47
Figura 3.4 Resistencia a la compresión Escenario 2 Reemplazo 20%	48
Figura 3.5 Resistencia a la compresión Escenario 2 Reemplazo 30%	48
Figura 3.6 Resistencia a la compresión Escenario 3 Reemplazo 20%	50
Figura 3.7 Resistencia a la compresión Escenario 3 Reemplazo 50%	50
Figura 3.8 Resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días	52
Figura 3.9 Bloque CBCA con exceso de agua	53
Figura 3.10 Vibrado para molde de madera	55

Figura 3.11 Material adherido a las paredes del molde	56
Figura 3.12 Bloque CBCA incompleto	56
Figura 3.13 Unidades de bloque CBCA	57
Figura 3.14 Material compactado en molde metálico.....	57
Figura 3.15 Bloque CBCA elaborado en molde metálico.....	58
Figura 3.16 Material en recipientes plásticos	58
Figura 3.17 Mezclado de materiales	59
Figura 3.18 Máquina bloquera	59
Figura 3.19 Bloques recién moldeados.....	60
Figura 3.20 Bloques CBCA.....	60
Figura 3.21 Cuadrilla de trabajo.....	61
Figura 3.22 Vivienda referencial amoblada.....	65
Figura 3.23 Vivienda referencial arquitectónico	66
Figura 3.24 Modelado vivienda	66
Figura 3.25 Pared de mampostería con Bloques CBCA.....	67
Figura 3.26 Gráfico de Dispersión 3D.....	67
Figura 4.1 Diagrama de red	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Límites de gradación.....	12
Tabla 2.2 Capacidad del molde	13
Tabla 2.3 Mezcla de control.....	16
Tabla 2.4 Mezcla de prueba	16
Tabla 2.5 Bloques de hormigón de acuerdo con su uso.....	18
Tabla 2.6 Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad	18
Tabla 2.7 Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad	19
Tabla 2.8 Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón	22
Tabla 2.9 Datos Técnicos Cemento GU	24
Tabla 2.10 Datos Técnicos Cemento HE.....	25
Tabla 2.11 Ponderación de alternativas.....	37
Tabla 3.1 Peso Volumétrico Suelto y Compactado CBCA.....	39
Tabla 3.2 Datos Absorción CBCA.....	39
Tabla 3.3 Datos Gravedad Específica CBCA	40
Tabla 3.4 Peso Volumétrico Suelto y Compactado Arena	41
Tabla 3.5 Datos Absorción Arena	41
Tabla 3.6 Datos Gravedad Específica Arena.....	41
Tabla 3.7 Flujo mezcla de control con Cemento GU.....	42
Tabla 3.8 Resistencia mezcla de control con Cemento	42
Tabla 3.9 Flujo mezcla de prueba con Cemento GU	43
Tabla 3.10 Resistencia mezcla de prueba con Cemento GU	43
Tabla 3.11 Impacto a la resistencia a la compresión con Cemento GU.....	43
Tabla 3.12 Flujo mezcla de control con Cemento HE	44
Tabla 3.13 Resistencia mezcla de control con Cemento HE	44

Tabla 3.14 Flujo mezcla de prueba con Cemento HE	44
Tabla 3.15 Resistencia mezcla de prueba con Cemento HE	45
Tabla 3.16 Impacto a la resistencia a la compresión con Cemento HE	45
Tabla 3.17 Evaluación de escenarios	46
Tabla 3.18 Escenario 1	46
Tabla 3.19 Escenario 2	47
Tabla 3.20 Resistencia a la compresión Escenario 2	48
Tabla 3.21 Escenario 3	49
Tabla 3.22 Resistencia a la compresión Escenario 3	49
Tabla 3.23 Proporciones de los materiales	51
Tabla 3.24 Diseño en seco por m ³	51
Tabla 3.25 Diseño SSS por m ³	51
Tabla 3.26 Diseño para la mezcla por m ³	52
Tabla 3.27 Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días	52
Tabla 3.28 Dosificación y resistencia CBCA 15% ajustada	54
Tabla 3.29 Dosificación por saco y parihuela	54
Tabla 3.30 Dimensiones Bloque comercial	61
Tabla 3.31 Pesos Bloque comercial	62
Tabla 3.32 Absorción y Densidad Bloque comercial	62
Tabla 3.33 Resistencia a la compresión Bloque comercial	62
Tabla 3.34 Dimensiones Bloque CBCA	63
Tabla 3.35 Pesos Bloque CBCA	63
Tabla 3.36 Absorción y Densidad Bloque CBCA	63
Tabla 3.37 Resistencia a la compresión 7días Bloque CBCA	64
Tabla 3.38 Resistencia a la compresión 14días Bloque CBCA	64
Tabla 4.1 Actividades de las fases del proyecto	77

Tabla 4.2 Criterios de evaluación y calificación	79
Tabla 4.3 Criterios de evaluación y calificación	79
Tabla 4.4 Matriz de valoración según extensión, duración y reversibilidad	80
Tabla 4.6 Matriz de valoración de magnitudes	82
Tabla 4.7 Matriz de impacto ambiental	84
Tabla 4.8 Medidas de mitigación de las fases del proyecto	86
Tabla 5.1 Precios de materiales.....	89
Tabla 5.2 Distribución de paredes	90
Tabla 5.3 Precio Bloques comerciales.....	90
Tabla 5.4 Costos iniciales	90

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Plano de detalle

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La caña de azúcar es una planta que se desarrolla en zonas tropicales y subtropicales, y se utiliza como materia prima en las industrias del azúcar y el etanol. Se cultiva a nivel comercial en más de 100 países (Huang et al., 2023). América Latina produce 320 millones de toneladas de caña de azúcar destinadas para la producción de azúcar. Por cada tonelada de caña de azúcar molida, se generan en promedio 270 kg de bagazo, y cada tonelada de bagazo quemado produce aproximadamente 25 kg de ceniza (Arbeláez Pérez et al., 2022).

El bagazo de caña de azúcar (BCA) es un residuo sólido orgánico que tiene potencial como recurso para generar respuestas ecológicas. En varios países latinoamericanos se le ha dado diferentes usos a este desecho como complemento para la alimentación de ganado, producción de biogás, pulpa para fabricación de papel ecológico y combustible para central termoeléctrica. En Ecuador se ha utilizado el bagazo como combustible para calderos en extractores de aceite de palma africana, en paneleras y trapiches, y en la elaboración de tableros aglomerados para la construcción (Pozo García, 2012).

Los ingenios azucareros ecuatorianos emplean el BCA para la producción de biocombustible, como es el caso del bioetanol, que se utiliza principalmente como aditivo en motores de gasolina. Sin embargo, este proceso genera una gran cantidad de cenizas (CBCA) que se acumulan en el fondo de los calderos (Peláez Barriga, 2020). Este residuo generalmente termina en ríos, cultivos, vertederos ilegales y espacios abiertos, causando problemas tanto para el suelo como para la vegetación circundante (Hemkemeier et al., 2023).

El CBCA contiene sílice semicristalina amorfa que es un componente fundamental en las reacciones puzolánicas con hidróxido de calcio, produciendo finalmente hidrato de silicato de calcio. La presencia de sílice en las cenizas es esencial para desencadenar y favorecer estos procesos químicos (Bhoi et al., 2023). Debido a

sus propiedades puzolánicas, es posible reemplazar parcialmente al cemento Portland que se utiliza comúnmente en las construcciones, por este material de fácil acceso y a un costo menor. En ciertos niveles de reemplazo, se evidencian mejoras en las propiedades mecánicas y durabilidad. Además, produce un bajo calor de hidratación que proporciona mayor resistencia al concreto (Anusha & Dineshkumar, 2022).

1.2 Presentación general del problema

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abordan los desafíos globales más urgentes, que incluyen medidas para mitigar los efectos del cambio climático y la degradación ambiental. Uno de los sectores más contaminantes es la industria de la construcción, que representa el 23% de las emisiones totales de CO₂ (Huang et al., 2018), siendo el 78% de estas, construcciones de hormigón armado (Ahmed et al., 2021).

Anualmente, los ingenios azucareros generan una gran cantidad de desechos orgánicos en las plantas de producción debido a la demanda de alimentos, que se deriva de la expansión demográfica. Según las Naciones Unidas, la población mundial fue de 7000 millones de personas en el año 2011, mientras que en 2021 alcanzó los 7900 habitantes. Se estima que para el año 2030 alcanzará los 8500 millones y en 2050 serán 9700 millones de personas. Este aumento de la población también implica una mayor exigencia de materiales de construcción para satisfacer la necesidad de vivienda, entre otros (Abhilasha et al., 2023). A nivel mundial, alrededor de 1600 millones de personas viven en condiciones de vivienda inadecuada y aproximadamente 15 millones son desalojadas cada año.

Ante estas dos realidades, es posible aprovechar la ceniza de origen agroindustrial en la fabricación de materiales de construcción, mientras posean ciertas características químicas y físicas, siendo una alternativa viable para mitigar la huella de carbono que causa esta industria. Por esto, se presenta una oportunidad para reducir el impacto medioambiental mediante el diseño de las mezclas sostenibles de mampostería no estructural que incorporen cenizas del bagazo de la caña de azúcar, y, al mismo tiempo, se puede obtener un beneficio económico para las empresas azucareras.

1.3 Justificación del problema

A nivel global, la fabricación de cemento Portland se sitúa en el tercer lugar en términos de consumo de energía de las industrias, siendo responsable de emitir entre el 5% y 8% de las emisiones antropogénicas anuales de CO₂ a la atmósfera (Spósito et al., 2023). En este sentido, es posible reutilizar ciertos materiales de desecho agroindustrial para reemplazar las puzolanas naturales. Así se pueden reducir las emisiones de CO₂, aprovechar los residuos existentes de manera más sostenible, evitando su acumulación y disposición inadecuada en vertederos (Perez-Diaz et al., 2023). La opción de utilizar residuos como sustitución parcial de materiales de construcción convencionales a base de cemento Portland, contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (ODS-12: Producción y Consumo Responsables), en las metas 12.2, 12.5 y 12.a. Su propósito es reducir de manera significativa la generación de residuos mediante la prevención, reducción, reciclaje y reutilización (França et al., 2023a).

Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación, la producción mundial de caña de azúcar fue de aproximadamente 2.100 millones de toneladas en 2021. En promedio, cada tonelada de caña de azúcar molida produce 270 kg de bagazo, y cada tonelada de bagazo quemado genera de 25 a 40 kg de ceniza (Arbeláez Pérez et al., 2022). El CBCA es un residuo que se genera en grandes cantidades en industrias azucareras y de etanol, principalmente en países en vías de desarrollo como India, Brasil y China (Wu et al., 2022).

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) mediante la operación Estadísticas de Edificaciones (ESED) informó que se planteó la construcción de 48006 viviendas durante el año 2022. Las provincias de Pichincha y Guayas presentaron una mayor incidencia en este aspecto, con 14036 y 9011 viviendas respectivamente. El hormigón armado es el material más utilizado para la construcción de los cimientos y la estructura, mientras que para la mampostería es el bloque, empleado en un 84.5% de las edificaciones en la provincia del Guayas. La segunda categoría de material más frecuente en paredes incluye madera, adobe

o tapia, bahareque, prefabricada, planchas de cartón yeso, y vidrio, pero se aplican en el 13% de los proyectos, razón por la cual se eligieron los bloques.

Con más de 9000 viviendas en proceso de construcción, la zona del Guayas se presenta como un mercado atractivo para introducir bloques de CBCA, debido al aumento constante en la demanda y el costo de las residencias. Además, destaca el porcentaje representativo de elección de bloques para la mampostería no estructural en dicha zona. Los bloques de CBCA contribuyen a que la vivienda sea sostenible, porque reduce la cantidad de cemento que se utiliza en la fabricación de los bloques y, por consiguiente, se consume menos energía (Rahim et al., 2023). Esto favorece al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (ODS-11: Ciudades y Comunidades Sostenibles) en las metas 11.3, 11.6 y 11.a.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar la mezcla de bloques sostenibles utilizando residuos de caña de azúcar para analizar su implementación en construcciones con mampostería no estructural.

- ¿Cómo afecta la variación en las proporciones de ceniza a la resistencia a la compresión de los bloques?
- ¿Cuál es la mejor proporción de mezcla de ceniza y demás materiales (cemento-arena-agua) para lograr el cumplimiento de los requisitos de las normas?
- ¿Cuál es el impacto ambiental de incorporar ceniza como reemplazo parcial de los otros materiales en la fabricación de bloques?

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar dosificaciones referenciales mediante la revisión de literatura para la propuesta de alternativas a la problemática.
- Caracterizar las propiedades físico-mecánicas del bloque CBCA de mampostería no estructural mediante los requisitos de la norma vigente para el cumplimiento de su funcionalidad.
- Analizar el impacto ambiental del bloque CBCA para la determinación de su contribución a los ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenible), y 12 (Producción y Consumo Responsable) para la gestión sostenible de recursos y la reutilización de desechos.
- Comparar el bloque CBCA junto al tradicional mediante el modelo de una vivienda convencional para el análisis presupuestario y constructivo.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

La industria de la construcción es responsable en gran medida de la contaminación ambiental y consume altas cantidades de recursos ecológicos (A. N. Raut & Gomez, 2017). La sostenibilidad se enfoca en el diseño y desarrollo de nuevos materiales que se centren en el principio de las 3R (reutilizar, reciclar y reducir) al seleccionar las materias primas (A. Raut et al., 2023). Por esto, se apunta hacia un proceso de innovación circular con respecto a los materiales de construcción que sean viables en términos sociales, ambientales y económicos (Karagiannis et al., 2021).

En un estudio elaborado por Aigbomian & Fan (2013), se desarrolló el Wood-Crete, un nuevo material de construcción sostenible que emplea aserrín, papel usado y cal. Además del aserrín, se pueden utilizar otros residuos de madera generados por actividades de aserrado. La incorporación de papel mejora la ligereza y las propiedades aislantes del material, mientras que la cal de la marca Tradical, es un aglutinante aéreo para fabricar productos duraderos, de alta calidad y con baja huella de carbono. La resistencia a la compresión que el Wood-Crete desarrolló osciló entre 0.06 MPa y 0.80 MPa, y una densidad de 356 a 713 kg/m³. Los resultados mostraron que es posible producir bloques ligeros con buen aislamiento para aplicaciones de paneles no estructurales o semiestructurales en interiores.

Una investigación reciente realizada por Inga et al. (2023) determinó que los bloques reforzados con fibra de agave americana son un material sostenible con propiedades mecánicas resistentes. Los componentes del bloque incluyeron arena, arcilla y limo. Para evaluar su comportamiento se propusieron cinco dosificaciones de fibra: 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1% del peso total, con una longitud de partícula de 25 mm. Los resultados mostraron que la dosificación óptima de fibra de agave fue del 0.25%, alcanzando una resistencia a la compresión de 2.54 MPa. La adición

de fibra en una proporción del 1%, obtuvo una resistencia a la tracción de 0.32 MPa, mientras que con un 0.5% de fibra de agave se consiguió una resistencia a la flexión de 1.44 MPa. Esto indica que con dosificaciones específicas de fibra de agave se pueden optimizar la resistencia de los bloques, y permite diversas aplicaciones en la construcción sostenible.

El cemento de origen calcáreo es el material más empleado para la preparación de morteros y hormigones en la industria de la construcción, con una producción mundial de 4 Gt/año aproximadamente (Alyami et al., 2023). El cemento Portland es el conglomerante más utilizado en el mundo, su componente principal es el clínker (Y. Li et al., 2022). En promedio, por cada tonelada de cemento Portland producido, se libera a la atmósfera 1 tonelada de dióxido de carbono, que se encuentra entre el 5 y 7% de las emisiones antropogénicas globales de CO₂ (Mohamed et al., 2023).

El hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) es un material con una alta resistencia a la compresión, superior a 120 MPa, y posee una excelente ductilidad y durabilidad (Abushanab et al., 2021). Generalmente no se emplean agregados gruesos, se utilizan componentes como humo de sílice, cenizas volantes, escoria de alto horno molida, entre otros (S. Li et al., 2021; Liao et al., 2021). Sin embargo, la cantidad de cemento Portland requerida para la producción de UHPC es superior a 800 – 1100 kg/m³, que es tres veces mayor que la cantidad necesaria para fabricar hormigón convencional (Wang et al., 2022).

En un estudio realizado por Wu et al. (2022), se desarrolló un hormigón de ultra alto rendimiento ecológico con CBCA como reemplazo parcial del cemento en proporciones del 20, 40 y 60%. Con respecto a la trabajabilidad, el reemplazo del 40% presentó los mejores resultados, con una fluidez de 250 mm. En relación con la resistencia a los 28 y 91 días, se encontró que al reemplazar hasta un 40% del cemento, la resistencia a la compresión a los 28 días se mantuvo similar al grupo de referencia, pero disminuyó al reemplazar el 60%. A los 91 días, la resistencia a la compresión fue notablemente mayor. Esto indica que el CBCA con tamaño medio

de partícula d_{50} de 12 μm , tuvo un impacto positivo en el desarrollo de resistencia a la compresión tardía.

El hormigón permeable es un material de naturaleza ecológica de gran importancia para el desarrollo sostenible de bajo impacto, desempeñando un papel fundamental en el cumplimiento los ODS en el aspecto de la construcción de sistemas de drenajes (Tijani et al., 2022). Está compuesto por árido grueso, cemento, agua contiene una cantidad mínima o nula de finos, que resulta en una estructura altamente porosa que facilita el paso del agua pase a través de él (Oinam et al., 2022). Supriya & Murali (2023) estudiaron los efectos en las características del hormigón permeable al reemplazar 10% del cemento por cenizas volantes, CBCA, y proporciones variables de árido fino. Se utilizó CBCA con una finura de 2.42% y gravedad específica de 1.84. Las mezclas de este material producen una resistencia a la compresión que varía entre 3.5 y 28 MPa. Los resultados mostraron que la sustitución con CBCA presentó un aumento significativo con respecto a resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Al evaluar la permeabilidad se obtuvieron reducciones en el coeficiente de permeabilidad en el reemplazo del cemento con los diferentes materiales, es decir, hubo una reducción de la cantidad de vacíos.

El polvo de cuarzo (QP) es un componente importante del UHPC. Es un subproducto de la minería y un recurso no renovable (Long et al., 2023). La producción de QP genera daños ambientales significativos a corto y largo plazo debido al tiempo y energía involucrado en su proceso de fabricación (Soliman & Tagnit-Hamou, 2017). Huang et al. (2023), realizó un estudio donde se utilizó CBCA como relleno activo para reemplazar el 20, 40, 60 y 80% del QP para preparar un nuevo tipo de UHPC ecológico. La fluidez óptima se obtuvo cuando la tasa de sustitución fue del 40%, con 220 mm. Se analizó el desarrollo de la resistencia hasta los 60 días y se encontró que las muestras con un reemplazo del 40, 60 y 80% presentaron un aumento de la resistencia a la flexión y a la compresión durante el período de 7 a 60 días. Los resultados más favorables se obtuvieron con una tasa de reemplazo del 60% en condiciones de curado estándar, con 23.7 MPa y 136.9 MPa en resistencia a la flexión y a la compresión, respectivamente.

Se ha estudiado la aplicación de CBCA como material de relleno. Bhoi et al. (2023) realizaron un estudio donde se utilizó cenizas de fábricas azúcar como material de relleno de un muro de contención para evaluar su viabilidad económica y ambiental. La prueba triaxial mostró que la resistencia ($\varphi'_{m(p)} \geq 34^\circ$) al corte de las cenizas de ingenios azucareros es comparable con el material de relleno convencional. La tasa de lixiviación fue $\leq 2,46$ que sugiere una liberación limitada de compuestos solubles o suspendidos, en este caso una concentración baja de metales pesados tóxicos. Esto convierte a las cenizas en un desecho inerte y a su vez, en un material que se puede usar en aplicaciones geotécnicas. Se diseñó un muro de gaviones y se obtuvo que el factor de seguridad para deslizamiento y vuelco son mayores a los recomendados, lo que indica que las cenizas de fábricas de azúcar son técnicamente viables. El análisis económico reveló que usar estas cenizas como material de relleno en muros de contención reduce los costos totales en un 41% comparado con los muros con relleno convencional. De esta manera, el proyecto resulta más económico y se garantiza la a gestión sostenible de los recursos naturales.

Según varias investigaciones, se determinó que el uso de CBCA en morteros de reparación ofrece beneficios importantes. Hemkemeier et al. (2023) estudiaron morteros de reparación producidos con 3% de lodos de una planta de tratamiento de agua y con 30% de CBCA, como reemplazo de la arena. El mortero con incorporación de CBCA reduce significativamente la profundidad de carbonatación, debido a que favorece la obstrucción de poros y evita el ingreso de CO_2 . Los resultados con respecto a la penetración de cloruros presentaron que el mortero con CBCA, puede aumentar la resistencia frente a este fenómeno hasta 56 días, mientras que el grupo de referencia y el mortero con lodos solo llegaron a 28 días. Los morteros con CBCA tienen la capacidad de ofrecer entornos con mayor protección al acero de refuerzo. Esto se explica por la microestructura refinada y la mayor alcalinidad que provee el CBCA que actúa como un inhibidor de la corrosión que protege las armaduras de los agentes agresivos.

2.2 Área de estudio

Según estimaciones de las Naciones Unidas, el 70% de la población global se asentará en ciudades para el 2050 (Weinmaster, 2009). El sector de la construcción es una de las industrias más grandes del mundo, representa aproximadamente el 40% de consumo mundial de recursos naturales y es causante del 40% de la generación de residuos (Dewagoda et al., 2022). Para encaminarse al desarrollo sostenible es necesario implementar métodos de construcción más limpios que reduzcan el uso de recursos y contaminantes antropogénicos como gases de efecto invernadero (GEI), aerosoles, dióxido de carbono, óxido de azufre, óxido de nitrógeno, benceno y otras emisiones (Ebolor et al., 2022). Una alternativa para lograr una economía baja en carbono son los materiales de construcción de base natural, que desde un punto de vista medioambiental presenta beneficios innegables (Michálková & Ďurica, 2022).

La construcción ecológica se clasifica según tres criterios que son la conservación de energía, materiales y recursos. Por lo tanto, es fundamental un diseño sostenible que cumpla los criterios de construcción verde, estrechamente relacionados con los materiales utilizados. Una solución potencial para abordar los desafíos energéticos y de materiales es el aprovechamiento de residuos industriales, que pueden ser utilizados para la producción de hormigón ecológico (Bakhoum et al., 2023). Aproximadamente, se emplean 30 mil millones de toneladas de hormigón al año en la industria de la construcción, y se estima que esta cifra se ha triplicado en las últimas cuatro décadas (Gencel et al., 2022). En la actualidad, el hormigón ha evolucionado más allá de los componentes tradicionales de cemento, agregados y agua, convirtiéndose en un material que se adapta para satisfacer las crecientes demandas tanto de la industria como del medio ambiente (Nataraja et al., 2023).

Las estructuras de mampostería han sido ampliamente utilizadas durante cientos de años, especialmente en países en desarrollo debido a su eficiencia económica y facilidad de construcción (Lee et al., 2023; Zhou et al., 2023). Su comportamiento está influenciado por su naturaleza compuesta, es decir, por las propiedades mecánicas de sus unidades, como bloques o piedras; el tipo de juntas, tanto secas

como de mortero; y las interfaces entre las unidades y las juntas, que pueden variar incluso dentro de la misma construcción (Barontini et al., 2023). El muro de mampostería se emplea frecuentemente en los proyectos de construcción, particularmente en paredes interiores y exteriores (Zhu et al., 2023). Los tipos de muros de mampostería incluyen bloques de hormigón, ladrillos de arcilla y muros de piedra. Estos materiales destacan por sus características de aislamiento, convirtiéndolos en una alternativa eficiente para limitar la transferencia de sonido y calor (Joyklad & Hussain, 2023).

Según Kamal (2022), los bloques de hormigón son unos de los diversos productos prefabricados que se utilizan en la construcción. El término prefabricado hace referencia a que los bloques se moldean y endurecen antes de ser llevados a obra. La mayoría de estos bloques poseen una o más cavidades huecas, y sus lados pueden ser lisos o tener un diseño. Un bloque rectangular de tamaño estándar es una unidad de mampostería de hormigón, es uno de los materiales de construcción más versátiles debido a su gran variedad de apariencias.

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

La normativa vigente que rige en el país para los bloques de hormigón es la NTE INEN 3066, publicada en 2016. Esta norma establece los requisitos físico-mecánicos para este tipo de mampostería hueca, elaborados con cemento hidráulico, agua y áridos minerales, tales como arena, grava, granulados volcánicos, entre otras (NTE INEN 3066, 2016).

Para ello, se especifica los requisitos de los materiales:

- El cemento hidráulico debe cumplir con las normas NTE INEN 490, NT3 INEN 2380 o NTE INEN 152.
- Los áridos cuyos requisitos se establecen en la norma NTE INEN 872.
- Y el agua debe ser de origen potable y libre de materiales nocivos (ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas).

2.3.1 Caracterización de los materiales

El INEN determina los ensayos para los elementos en la norma (NTE INEN 872, 2011) de los áridos para hormigón:

- Análisis granulométrico (NTE INEN 696, 2011).
- Peso volumétrico y porcentaje de vacíos (NTE INEN 858, 2010).
- Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino (NTE INEN 856, 2010).
- Y adicionalmente, se mide el índice de actividad de resistencia con cemento portland para la CBCA (ASTM-C311, 2007).

2.3.1.1 Análisis Granulométrico

Se determina la gradación de las partículas de acuerdo con la norma NTE INEN 696, respetando los límites establecidos en la norma NTE INEN 872:

Tabla 2.1 Límites de gradación (NTE INEN 872, 2011)

Tamiz	% que pasa
(3/8 in) 9.5 mm	100
(No. 4) 4.75 mm	95 – 100
(No. 8) 2.36 mm	80 – 100
(No. 16) 1.18 mm	50 – 85
(No. 30) 600 µm	25 – 60
(No. 50) 300 µm	5 – 30
(No. 100) 150 µm	0 – 10

Las masas de las partículas que componen la muestra en condiciones secas son tamizadas por una serie de aberturas (No. 4, 8, 16, 30, 50, 100) y el fondo en forma descendente, para determinar la distribución del tamaño de partículas (NTE INEN 696, 2011).

Procedimiento:

- Cuartear la muestra y obtener la cantidad representativa, para árido fino un mínimo de 300 gramos.
- Secar al horno la muestra representativa a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas o hasta obtener una masa constante.
- Ordenar descendientemente los tamices de la serie de módulo de finura de Duff Abrams (No. 4, 8, 16, 30, 50, 100).
- Un período de tamizado no más del 1% en masa retenido en cualquier tamiz durante 1 minuto del tamizado continuo.
- Determinar las masas de cada incremento y porcentajes pasantes y retenidos de tamaño con una precisión del 0.1% de la masa total. La masa tamizada debe ser similar a la masa original colocada en no más del 0.3%.
- Calcular el módulo de finura.

$$M_F = \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados de los tamices No. 4, 8, 16, 30, 50, 100}}{100} \quad (2.1)$$

2.3.1.2 Peso Volumétrico

La masa unitaria o peso volumétrico del árido es obtenido mediante los procedimientos (suelto-varillado) y recipientes adecuados (NTE INEN 858, 2010).

Procedimiento:

- Seleccionar la capacidad del molde cilíndrico según la norma NTE INEN 858, en este caso el recipiente de 2.8 litros para nuestro árido de No. 4:

Tabla 2.2 Capacidad del molde (NTE INEN 858, 2010)

Tamaño máximo nominal del árido [mm]	Capacidad nominal del molde m3 [litros]
12.5	0.0028 [2.8]
25.0	0.0093 [9.3]
37.5	0.014 [14]
75.0	0.028 [28]
100.0	0.070 [70]

125.0	0.100[100]
-------	------------

- Seleccionar el tamaño de la muestra aproximadamente entre el 125% y 200% necesaria para llenar el molde y evitar segregación.
- Secar al horno la muestra representativa a una temperatura de 110 °C ± 5°C o hasta obtener una masa constante.
- Determinar el volumen y masa del molde vacío.
- Para el procedimiento por paladas para el peso volumétrico suelto se descarga del árido en el molde mediante una pala o cucharón a una altura máxima de 50mm, después enrasar y registrar su masa.
- Para el procedimiento por varillado se llena el molde mediante 3 capas y compactar con 25 golpes cada una, después enrasar y registrar su peso.
- Calcular el peso volumétrico suelto y varillado:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (2.2)$$

Donde:

M: Masa unitaria o peso volumétrico [Kg/m³]

G: Masa del árido más el molde [Kg]

T: masa del molde [Kg]

V: Volumen de molde [m³]

2.3.1.3 Gravedad Específica y absorción

El ensayo se determinada mediante el método gravimétrico (picnómetro) con una muestra sumergida en agua durante 24h ± 4h que ha sido previamente secada hasta obtener una masa constante. Después con el registro de las masas SSS (Saturada Superficialmente Seca) y secada al horno se calcula la gravedad específica y absorción (NTE INEN 856, 2010).

Procedimiento:

- Preparación de la muestra: Secar al horno la muestra representativa a una temperatura de 110 °C ± 5°C o hasta obtener una masa constante. Luego sumergirla hasta conseguir mínimo el 6% de humedad o reposar durante 24h ± 4h.

- Condición SSS: Decantar el exceso de agua y sobre una superficie plana no absorbente efectuar un secado homogéneo hasta alcanzar la condición SSS del árido. Para ello, se coloca la muestra en un molde de cono truncado compactándola mediante 25 golpes con el pisón a una altura de 5mm aproximadamente. Luego se enrasa y se levanta el molde para observar el comportamiento del árido fino. Este proceso de secado y comprobación se repite hasta que el árido se desmorone ligeramente.
- Método gravimétrico: Con 500 ± 10 gramos del árido SSS y agua hasta el 90% de la capacidad se llena el picnómetro y agitarlo de forma manual mediante el rolado para eliminar las burbujas.
Llenar con agua hasta la línea de calibración del picnómetro y registrar la masa del picnómetro más la muestra y el agua.
Luego retirar el árido fino y secarlo al horno a $110 \text{ °C} \pm 5\text{°C}$ hasta obtener una masa constante y enfriarlo durante $1\text{h} \pm \frac{1}{2}\text{h}$ y registrar su masa.
Registrar la masa del picnómetro con agua hasta la línea de calibración.
- Para obtener la absorción del árido con una masa de 500 ± 10 gramos en condición SSS, secarlo hasta conseguir una masa constante y registrar la masa seca.
- Calcular la gravedad específica:

$$\text{Gravedad Específica SSS} = \frac{S}{B + S - C} \quad (2.3)$$

$$\text{Gravedad Específica aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad (2.4)$$

- Calcular la absorción:

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} \times 100\% \quad (2.5)$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno [g]

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta la línea de calibración [g]

C: Masa del picnómetro más muestra y agua hasta la línea de calibración [g]

S: Masa SSS

2.3.1.4 Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para su uso en hormigón de cemento Portland

Índice de actividad de resistencia

Se obtiene el índice mediante el ensayo de resistencia a la compresión a partir de probetas de una mezcla de control y otro con el sustituto (CBCA) del 20% de la cantidad de cemento manteniendo el flujo en un ± 5 flujo de la mezcla de control (ASTM-C311, 2007).

Tabla 2.3 Mezcla de control (ASTM-C311, 2007)

Material	Cantidad [g]
Cemento	500
Sustituto (CBCA)	0
Arena estándar ASTM	1375
Agua	242

Tabla 2.4 Mezcla de prueba (ASTM-C311, 2007)

Material	Cantidad [g]
Cemento	400
Sustituto (CBCA)	100
Arena estándar ASTM	1375
Agua	± 5 flujo

Procedimiento de mezclado según (ASTM-C305, 2006):

- Colocar la paleta y el recipiente con los materiales en la mezcladora variando su velocidad de la siguiente manera.
- Colocar toda el agua de mezcla en el recipiente.
- Agregar el cemento al agua y posterior poner en marcha la mezcladora y
- mezclar a velocidad lenta (140 ± 5 r/min) durante 30 s.
- Luego añadir toda la cantidad de arena lentamente durante 30 s, mezclando a velocidad lenta.
- Después detener la mezcladora y cambiar a velocidad media (285 ± 10 r/min) y mezclar durante 30 s.
- Detener la mezcladora y dejar reposar el mortero durante 90 s. Y durante los primeros 15 s de este intervalo, remover el mortero que se haya acumulado en las paredes, luego durante el resto de este intervalo se cubre el recipiente con una franela húmeda.
- Terminar de mezclar durante los próximos 60 s a velocidad media (285 ± 10 r/min).

Procedimiento para determinar el flujo según (ASTM-C1437, 2007):

- Posterior al mezclado se coloca el mortero en el molde previamente centrado en la mesa de flujo con un espesor de 25mm aproximadamente y apisonar 20 veces con el pisón asegurando un llenado uniforme del molde.
- Enrasar con la parte superior y limpiar la superficie de la mesa,
- Retirar el molde del mortero 1 minuto después de finalizar la operación de mezcla.
- Dejar caer inmediatamente la mesa 25 veces en 15 s y registrar el diámetro al milímetro más próximo del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la parte superior de la mesa.
- Cuando verifiquemos que cumpla la mezcla de prueba con una tolerancia de ± 5 flujo de la mezcla de control.

Luego determinar la resistencia a la compresión de tres probetas de la mezcla de control y tres probetas de la mezcla de ensayo a una edad de 7 días, o 28 días, o ambos.

Calcular la índice actividad de resistencia:

$$\text{Índice \%} = \frac{X}{Y} \times 100\% \quad (2.6)$$

Donde:

X: Resistencia a la Compresión de la mezcla de prueba [MPa]

Y: Resistencia a la Compresión de la mezcla de control [MPa]

2.3.2 Ensayos para bloques de hormigón

Después de completar la caracterización de los materiales, se ensaya las unidades de mampostería para el cumplimiento de los requisitos.

La unidad de bloque hueco para el estudio es clasificada de acuerdo con su uso como mampostería no estructural de clase B que es utilizada como separadores de espacios físicos, y soportar únicamente su propio peso con una resistencia a la compresión simple de 3.5 MPa por bloque y 4.0 MPa en promedio de 3 bloques (NTE INEN 3066, 2016).

Tabla 2.5 Bloques de hormigón de acuerdo con su uso (NTE INEN 3066, 2016)

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

Tabla 2.6 Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad (NTE INEN 3066, 2016)

Tipo	Densidad del Hormigón [kg/m ³]
Liviano	< 1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	> 2000

Los requisitos más influyentes en el rendimiento final del mampuesto son:

- Dimensiones
- Absorción, densidad y otros
- Resistencia a la compresión simple

2.3.2.1 Partes de un bloque de hormigón

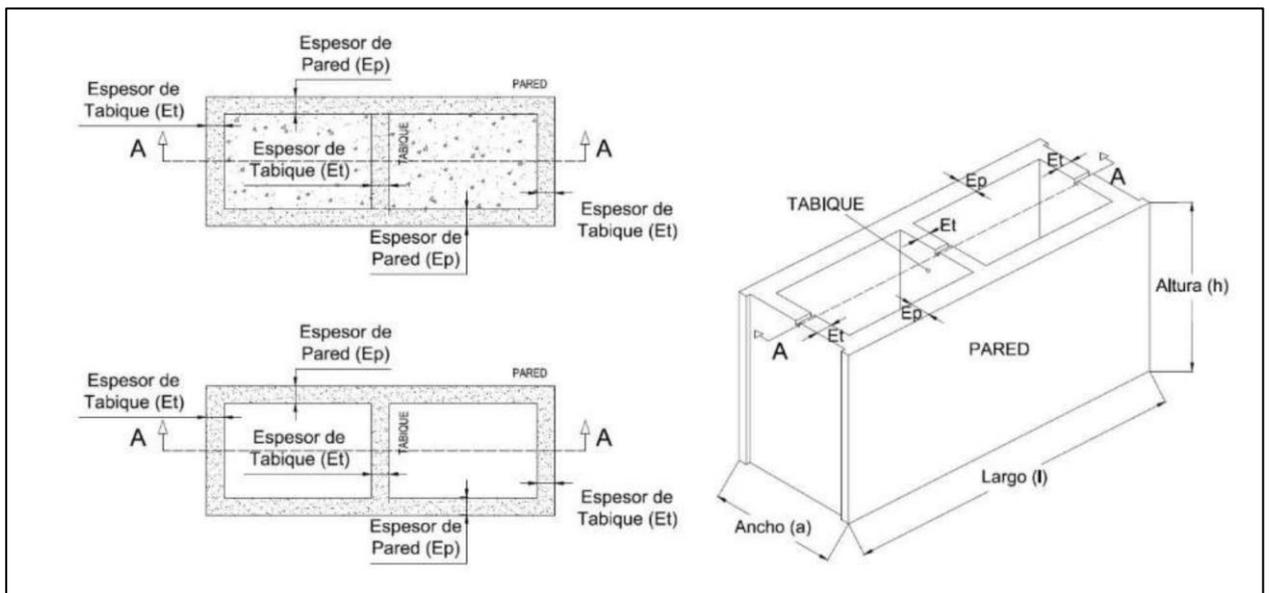


Figura 2.1 Nomenclatura de partes del bloque de hormigón (NTE INEN 3066, 2016)

2.3.2.2 Muestreo de bloques

Tabla 2.7 Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad (NTE INEN 3066, 2016)

Propiedad	Cantidad de bloques
Dimensiones	3
Absorción, densidad y otros	3
Resistencia a la compresión simple	3

2.3.2.3 Dimensiones mínimas de tabiques y paredes

La tolerancia máxima debe ser $\pm 3\text{mm}$ del largo, ancho y altura reales de las respectivas nominales.

El espesor mínimo de las paredes y tabiques para los bloques de Clase B y C debe ser de 13mm.

Procedimiento:

- Determinar las medidas del ancho – largo – altura. Ancho en centro del largo del bloque, en la superficie de carga superior e inferior. Largo en el centro de la altura de cada pared del bloque. Altura en el centro del largo del bloque, y en cada pared.
- Registrar las medidas de los espesores de pared y de tabique en el punto más delgado de cada elemento, ignorando surcos, protuberancias y similares. Sin embargo, cuando los puntos más delgados de la pared opuesta difieren en 3mm, si es $< 3\text{mm}$ se promedia, en cambio, si es $> 3\text{mm}$ (el menor valor).
- Calcular el área normalizada de tabiques:

$$A_{tn} = \frac{A_{tn}}{h \times l} \times 10^6 \quad (2.7)$$

Donde:

A_{tn}: Área de tabiques normalizada [mm^2/m^2]

A_{tt}: Área total mínima de tabiques [mm^2]

l: Longitud nominal [mm]

h: Altura nominal [mm]

2.3.2.4 Absorción, densidad y otros

Procedimiento:

- Saturación: Sumergir en agua los mampuestos a temperatura entre 16°C y 27°C, durante 24h a 28h.
- Registrar la masa sumergida dentro de un tanque sujeta de un alambre.
- Extraer las unidades, escurrirlas durante 60 ± 5 segundos y eliminar la humedad visible utilizando un paño, y luego registrar su peso. Repetir este

proceso cada 24 horas hasta que la variación de peso sea inferior al 0.2%. Registrar el último valor obtenido como masa de la muestra saturada.

- Secado: Secar las muestras de mampuesto en un horno ventilado entre 100 °C y 115°C. Registrar las masas de las unidades cada 24h hasta que difieran con un máximo de 0.2%. Registrar el último valor como masa de muestra seca al horno.

- Calcular la absorción:

$$Abs \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 10^3 \quad (2.8)$$

$$Abs [\%] = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 10^2 \quad (2.9)$$

- Calcular el contenido de humedad:

$$w [\%] = \frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} \times 10^2 \quad (2.10)$$

- Calcular la densidad:

$$Densidad \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 10^3 \quad (2.11)$$

Donde:

Ms: Masa saturada [Kg]

Mi: Masa sumergida [Kg]

Md: Masa seca al horno [Kg]

Mr: Masa de la unidad recibida [Kg]

- Calcular el área promedio:

$$Vn [mm^3] = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) \times 10^2 \quad (2.12)$$

$$An [mm^2] = \frac{Vn}{h}$$

(2.13)

Donde:

Vn: Volumen neto [mm³]

D: Densidad seca al horno [Kg/m³]

An: Área neta promedio [mm²]

h: Altura promedio [mm]

2.3.2.5 Resistencia a la compresión simple

Tabla 2.8 Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón (NTE INEN 3066, 2016)

Descripción	Resistencia neta mínima a compresión simple [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

Procedimiento:

- Posición de las unidades: Se ensayan las unidades verificando que el centroide de su superficie de carga esté alineado verticalmente con el centro de aplicación del elemento de acero de soporte esférico en la máquina de ensayo. Todas las unidades deben tener sus celdas en posición vertical.
- Condición de humedad: Libres de humedad visible.
- Velocidad de ensayo: Aplicar la carga a una velocidad adecuada, hasta la mitad de la carga máxima esperada. Luego se ajusta una velocidad constante para el desplazamiento del cabezal móvil, para que la carga restante se aplique dentro del límite de 1 a 2 minutos.
- Calcular el área bruta:

$$A_g [mm^2] = l \times a$$

(2.14)

Donde:

Ag: Área bruta [mm²]

l: largo promedio [mm]

a: ancho promedio [mm]

- Calcular la resistencia a la compresión simple del área neta:

$$\text{Resistencia a compresión del area neta [MPa]} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_n} \quad (2.15)$$

- Calcular la resistencia a la compresión simple del área bruta:

$$\text{Resistencia a compresión del area bruta [MPa]} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_g} \quad (2.16)$$

Donde:

P_{máx}: Carga máxima de compresión [N]

2.4 Análisis de datos

2.4.1 Cemento

Los cementos hidráulicos que se emplearon poseen reconocimientos nacionales e internacionales como la Certificación Internacional de abastecimiento responsable Concrete Sustainability Council Level Gold y de la planta de producción de cemento Guayaquil y Latacunga con un certificado Punto Verde 'Empresa Ecoeficiente'.

Tipo GU

El cemento hidráulico cumple con la norma NTE INEN 2380 y reduce en un 30% las emisiones de CO₂, y contempla los siguientes usos:

- Elaboración de elementos prefabricados y estructurales como losas, columnas, vigas, riostras, cadenas.
- Vías y pavimentos.
- Mortero para nivelación de pisos.
- Elaboración de morteros para mampostería: enlucido y pegado de bloques.
- Fabricación de mortero para pegar piezas de porcelanato-cerámica.
- Trabajos de albañilería.

Tabla 2.9 Datos Técnicos Cemento GU (NTE INEN 2380, 2011)

Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat	
Inicial, no menos de, minutos	45
Inicial, no más de, minutos	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa	
1 día	-
3 días	17
7 días	22
28 días	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	-

Después de la verificación de la resistencia por el ensayo de compresión se observó que las resistencias a la compresión difieren entre el ensayado y el esperado a los 7 y 28 días.

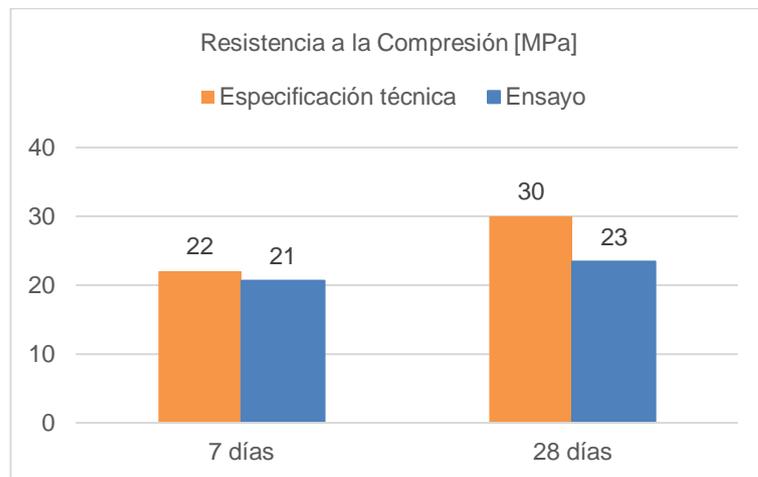


Figura 2.2 Resistencia a la Compresión Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Tipo HE

Este tipo de cemento hidráulico cumple con la norma NTE INEN 2380 y ofrece mezclas más resistentes y duraderas en todas las etapas de vida a comparación a los cementos convencionales. Contempla los siguientes usos destinados a un servicio rápido.

- Edificios y estructuras masivas.
- Obras civiles como pavimentos, puentes y obras portuarias.
- Elementos prefabricados.

Tabla 2.10 Datos Técnicos Cemento HE (NTE INEN 2380, 2011)

Cambio de longitud por autoclave, % máximo	-0.02
Tiempo de fraguado, método de Vicat Inicial, no menos de, minutos Inicial, no más de, minutos	130
Contenido de aire mortero, en volumen, %	5
Resistencia a la compresión, mínimo MPa 1 día 3 días 7 días 28 días	14 27 34 42
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.002
Resistencia a sulfatos, 6 meses	-

En la verificación de la resistencia por el ensayo de compresión se observó que las resistencias a la compresión difieren entre el ensayado y el esperado a los 7 y 28 días.

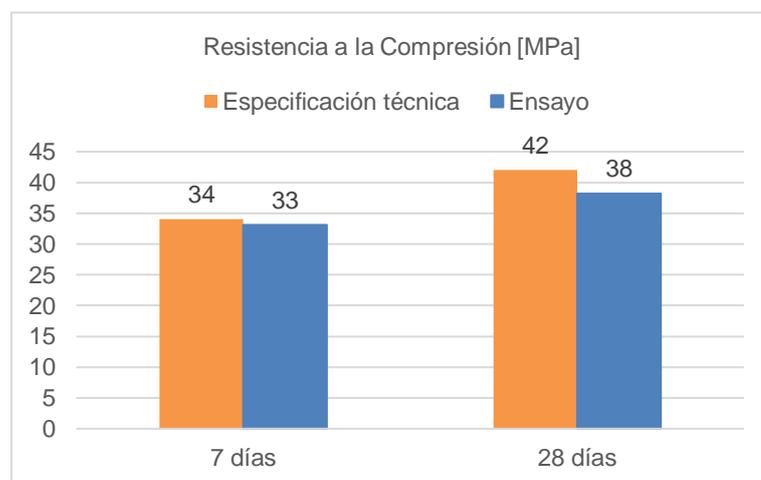


Figura 2.3 Resistencia a la Compresión Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

2.4.2 Ceniza

La ceniza del bagazo de caña de azúcar se caracterizó mediante los ensayos SEM, TGA y XDR que describe su componente físico y mecánico de la partícula.

2.4.2.1 SEM Scanning Electron Microscopy Tests

El análisis SEM proporciona imágenes de alta resolución que ayuda evaluar cualitativamente la disposición y alcance de la degradación superficial de una determinada muestra (Akbari & Shayegani-Akmal, 2023).

Las muestras se analizaron con un microscopio electrónico utilizando un voltaje de 12.50 kV. Los resultados del ensayo SEM en escalas de 50, 100 y 200 μm se presentan en las siguientes figuras.

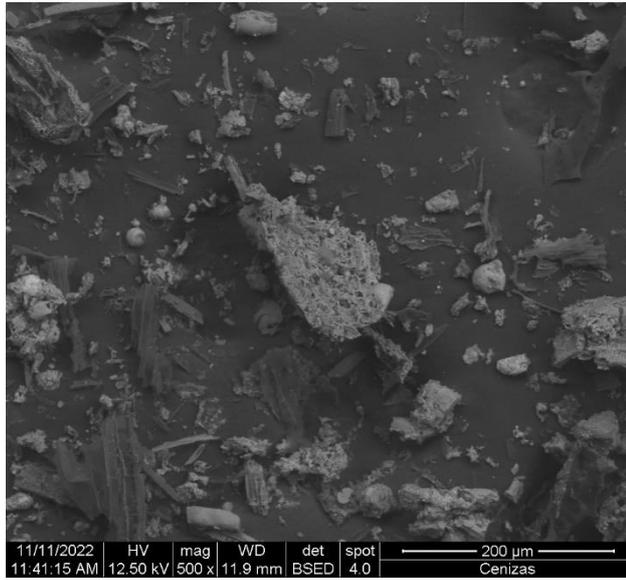


Figura 2.4 SEM de CBCA 200 μm (Cliente, 2022)

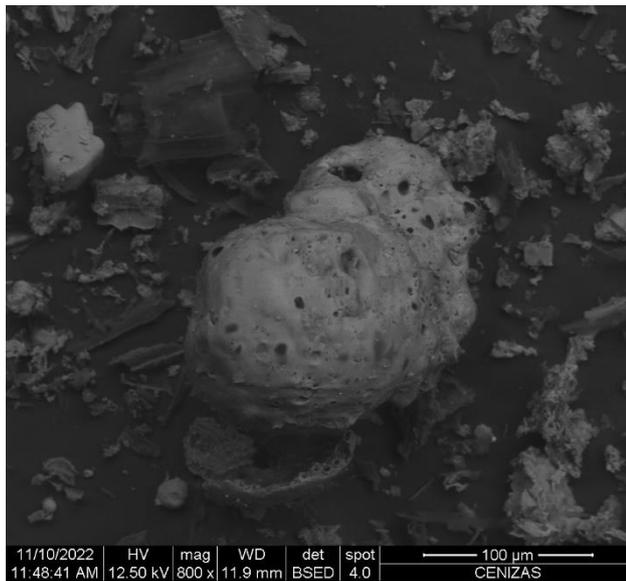


Figura 2.5 SEM de CBCA 100 μm (Cliente, 2022)

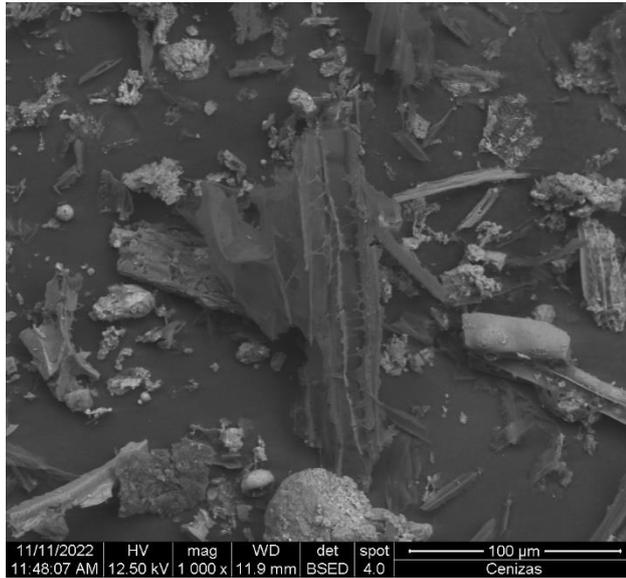


Figura 2.6 SEM de CBCA 100 μm (Cliente, 2022)

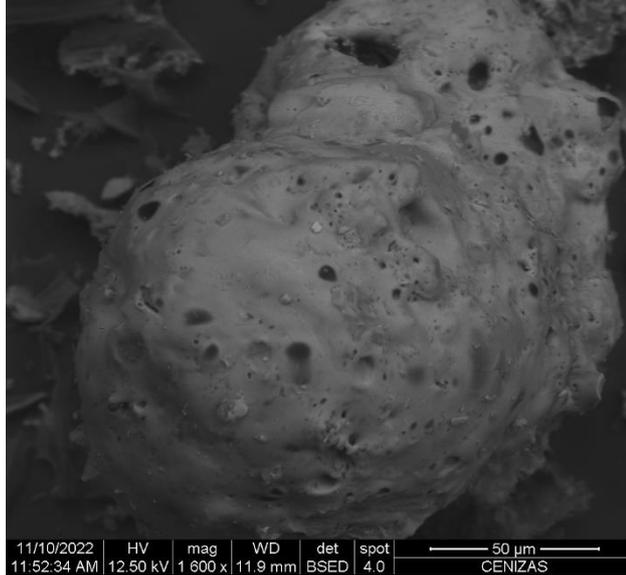


Figura 2.7 SEM de CBCA 50 μm (Cliente, 2022)

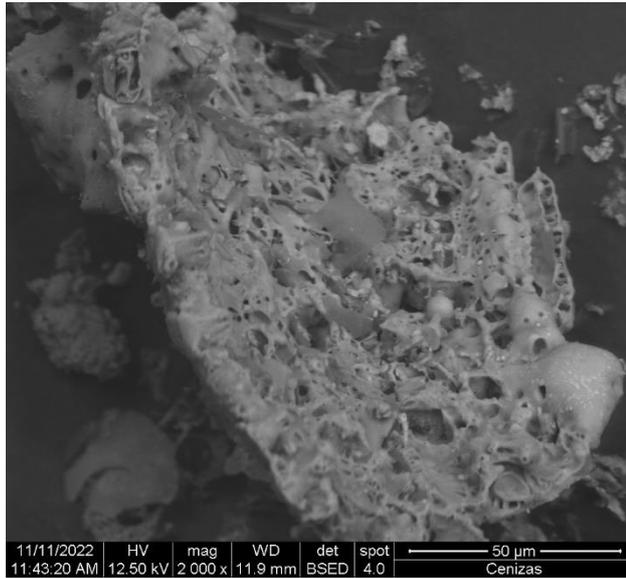


Figura 2.8 SEM de CBA 50 µm (Cliente, 2022)

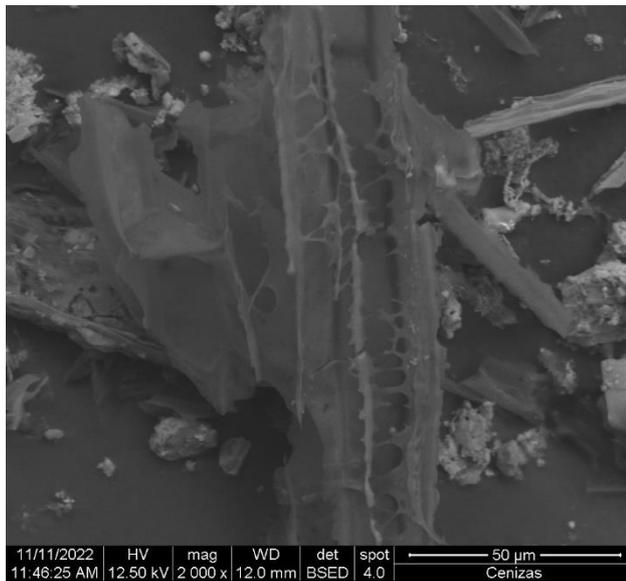


Figura 2.9 SEM de CBA 50 µm (Cliente, 2022)

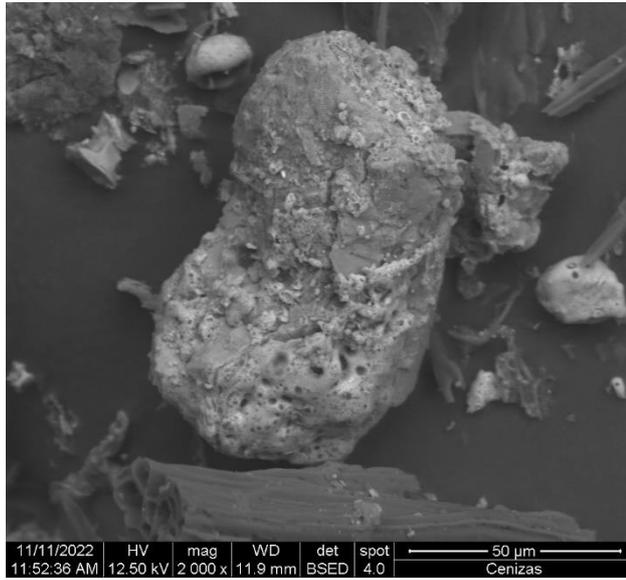


Figura 2.10 SEM de CBCA 50 μm (Cliente, 2022)

2.4.2.2 TGA Thermo Gravimetical Analysis

Es una técnica empleada para analizar las propiedades térmicas de los materiales midiendo los cambios de masa de la muestra al exponerla a incrementos de temperatura constantes en una atmosfera controlada, es decir, se evalúa la estabilidad térmica y composición de la muestra (Eliyan et al., 2021).

El tamaño de la muestra fue de 8.2650 mg donde se calentaron de 0 °C a 1000 °C. La figura muestra el diagrama de análisis termogravimétrico TGA y la calorimetría diferencial de barrido DSC de la ceniza.

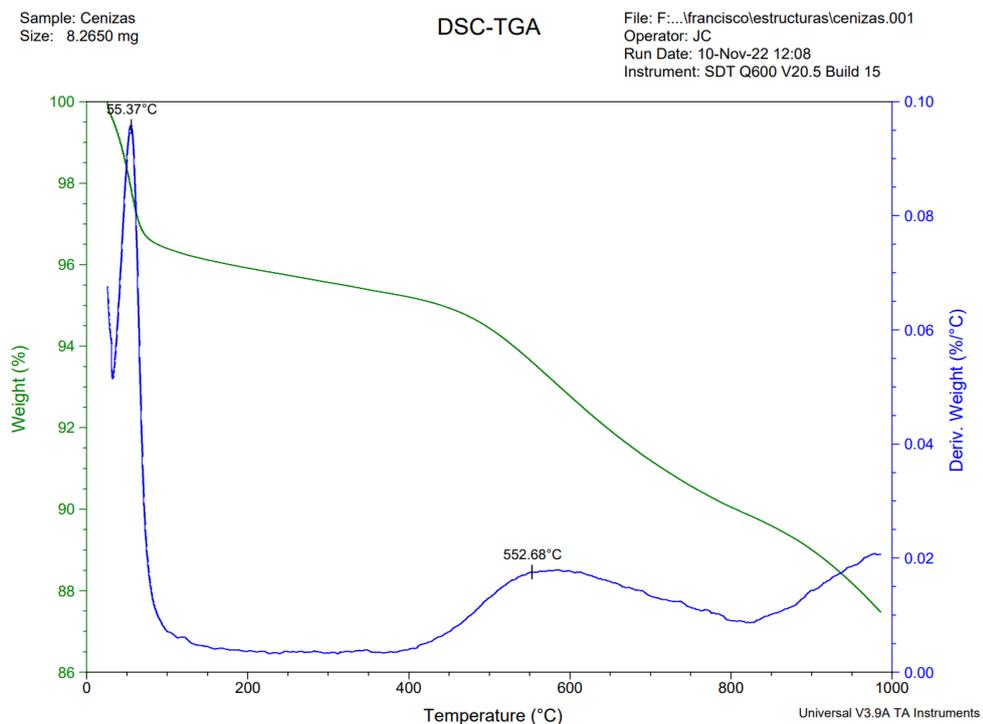


Figura 2.11 DSC - TGA de CBCA (Cliente, 2022)

2.4.2.3 XDR X-Ray Diffraction Analysis

Esta técnica nos permite evaluar las características superficiales de la muestra (Vishnoi et al., 2021). La composición de la ceniza está conformada por anortita, cuarzo, grafito y mayormente compuesta por partículas amorfas.

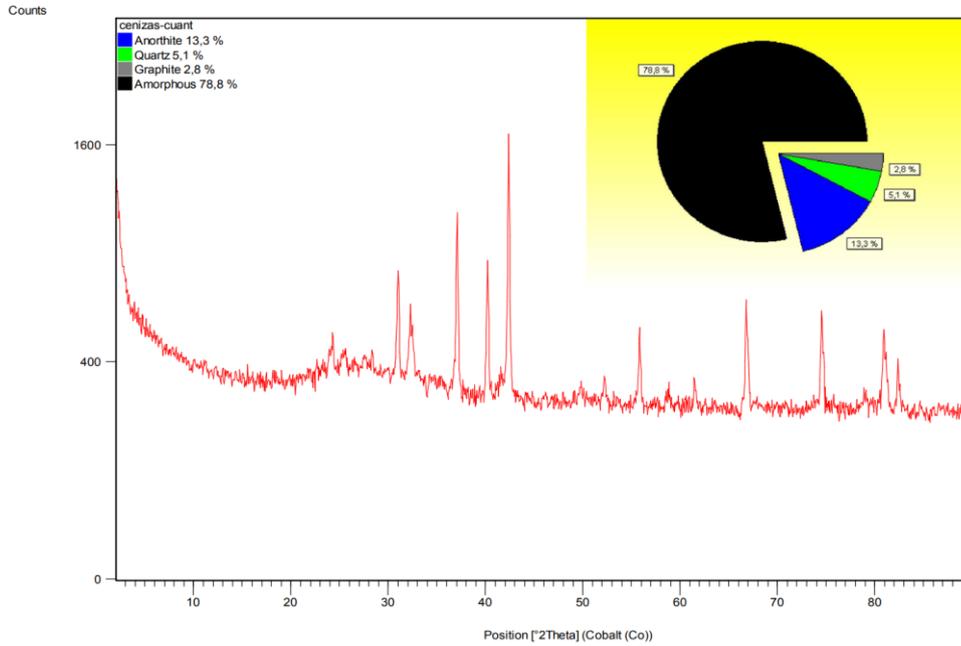


Figura 2.12 XDR de CBCA (Cliente, 2022)

2.4.3 Variables

Primero se evalúan los distintos escenarios en función de los parámetros para el análisis de las variaciones en las resistencias a la compresión y la incidencia de la ceniza en la mezcla. Y posteriormente, en referencia al comportamiento de estos materiales se selecciona parámetros fijos y variables para la elaboración del bloque.

Los parámetros fijos y variables que se asignaron fueron: cemento, relación agua/cemento, flujo - agua, CBCA y arena.

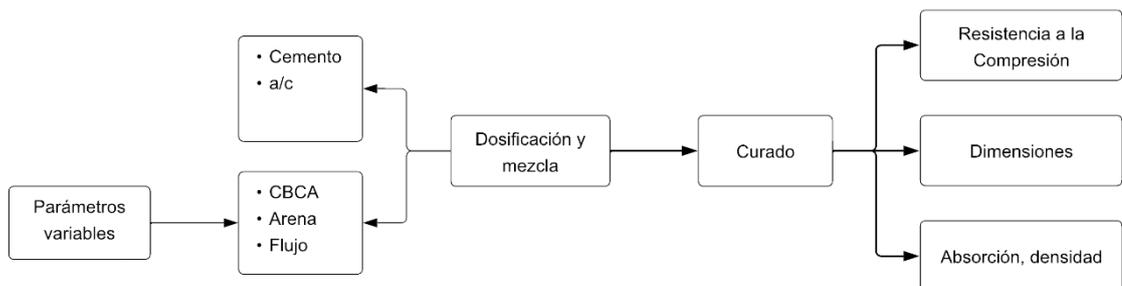


Figura 2.13 Parámetros de mezcla (Aguirre & Zurita, 2023)

2.5 Análisis de alternativas

Se proponen tres alternativas como solución para reutilizar la ceniza de bagazo de la caña de azúcar:

- Bloques huecos de hormigón
- Ladrillos de arcilla
- Adoquines de hormigón

Los parámetros de evaluación son los siguientes:

2.5.1 Técnicos

La cantidad de requisitos que establecen las normativas vigentes varían de acuerdo con el tipo de material:

Según la NTE INEN 3066, los bloques huecos de hormigón se tienen los siguientes:

- Generalidades: Materiales, dimensiones
- Aspectos visuales y marcas
- Absorción de agua
- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia al fuego

La NTE INEN 3049 Parte 3 indica que los requisitos para los ladrillos cerámicos son:

- Tipos de unidades
- Requisitos específicos: Ladrillos comunes, unidades de mampostería liviana, propiedades físicas (absorción de agua, resistencia mecánica a la compresión)
- Paredes y perforaciones: Área total del celdas o huecos, número mínimo de celdas
- Coordinación modular
- Tolerancia dimensional
- Textura y color

- Límites de defectos superficiales
- Distorsión de las caras o aristas (alabeo)
- Eflorescencias
- Piezas especiales

Por último, la NTE INEN 3040 señala que los requisitos para adoquines de hormigón son:

- Requisitos de los materiales
- Requisitos de los productos: Generalidades, forma y dimensiones, propiedades físicas y mecánicas (Resistencia climática por absorción total de agua, resistencia a la rotura por tracción indirecta, resistencia al desgaste por abrasión, resistencia al deslizamiento/resbalamiento, comportamiento frente al fuego, conductividad térmica)
- Aspectos visuales: Generalidades, apariencia, textura, color

En términos de resistencia mínima a la compresión según las normas antes mencionadas se indica que para bloques huecos de hormigón la resistencia es de 4 MPa y para ladrillos de arcilla con perforación vertical es de 14 MPa. En el caso de los adoquines de hormigón, la norma ecuatoriana no determina un valor específico de resistencia mínima a la compresión. Sin embargo, debido a que los adoquines se utilizan en áreas que soportan cargas viales o peatonales, se espera que tengan una resistencia a la compresión más alta en comparación con los bloques y ladrillos.

Con respecto a la instalación de los materiales propuestos, los bloques de hormigón y ladrillos de arcilla siguen un proceso similar que incluye de manera general:

- Establecer la ubicación del muro.
- Colocar los bloques de hormigón o ladrillos de arcilla sobre una base nivelada y utilizar mortero en las juntas verticales y horizontales.
- Cortar el material para que se ajuste al diseño.
- Dejar secar el mortero según las indicaciones del fabricante.

Los adoquines de hormigón tienen un proceso de instalación con más consideraciones debido a su uso en pavimentos:

- Marcar el área a pavimentar.
- Excavar la tierra del área marcada hasta la profundidad que se requiera.
- Instalar un confinamiento vertical para evitar deslizamientos horizontales de los adoquines.
- Colocar una capa base de grava compactada sobre el suelo excavado, seguido de una capa de arena. Se debe establecer una pendiente para facilitar el drenaje de agua.
- Colocar los adoquines dejando una junta mínima entre ellos. De ser necesario, cortar el material para que se ajuste al diseño.
- Rellenar las juntas con arena o mortero y deja secar según las indicaciones del fabricante.

De acuerdo con la cantidad y complejidad de los requisitos, la accesibilidad en función a los valores mínimos de resistencia a la compresión y consideraciones en el proceso de instalación, se asignó una calificación a las alternativas propuestas. Los bloques de hormigón reciben una ponderación alta de 3, media de 2 para los ladrillos de arcilla y baja para los adoquines de hormigón con un valor de 1.

2.5.2 Económico

El precio del bloque de hormigón de 20x40x10 cm que se utiliza para mampostería oscila en \$0.33 por unidad sin incluir transportación. El adoquín formas y colores con espesor de 6 cm, tiene un costo por 50 unidades de \$12.00, es decir, aproximadamente \$0.24. El precio de este material varía de acuerdo con la forma, color y resistencia que se requiera, tienen un valor desde los \$7.20 a \$10.50 por metro cuadrado, y los adoquines peatonales tiene un costo desde \$20.68 por metro cuadrado. Esta información se consultó en datos Cámara de Comercio del Ecuador y el INEC.

Los ladrillos de arcilla presentan precios variados dependiendo de sus dimensiones y perforaciones, según empresas ecuatorianas que se dedican a la fabricación de estos materiales, el precio se encuentra desde \$0.60 por unidad.

Se asigna una valoración de 3 a los bloques de hormigón debido a que presentan el precio de mercado más económico, 2 para los ladrillos de arcilla, y 1 para los adoquines de hormigón por las variaciones que hay con respecto a su aspecto y aplicación.

2.5.3 Social

En un proyecto de vivienda, la mampostería no estructural principalmente es utilizada en las paredes internas y externas. La operación Estadísticas de Edificaciones del año 2022 indicó que los bloques de hormigón son el material más empleado en estas áreas, proporcionando aislamiento térmico, acústico y privacidad. Los ladrillos también se emplean, pero con una notable disminución en la demanda. Por otro lado, los adoquines se aplican como revestimiento de pisos, añadiendo un aspecto estético y funcional. Por esto, se asigna una puntuación de 3 a los bloques porque se utilizan en la mayoría de las aplicaciones de mampostería no estructural, mientras que los ladrillos y los adoquines se emplean en menor medida, ponderándolos con valores de 2 y 1, respectivamente.

2.5.4 Ambiental

Los bloques de hormigón tienen una menor huella de carbono en la etapa de extracción, debido a que utilizan menos cemento que los adoquines y menos energía que los ladrillos. Sin embargo, este valor aumenta por el volumen de producción y transporte que implica un incremento en el consumo energético en obra. Los ladrillos de arcilla presentan una mayor huella de carbono en la etapa de extracción debido a que requieren gran cantidad de energía para su cocción a altas temperaturas. Su huella disminuye en las etapas posteriores porque su producción en volumen es menor en comparación a los bloques y adoquines. Los adoquines de hormigón generan una huella de carbono intermedia, utilizan más cemento que los bloques, pero consumen menos energía que los ladrillos. Se asigna la

ponderación de 3 a los bloques de hormigón debido a que generan un mayor impacto ambiental, y 2 a los ladrillos como a los adoquines.

2.5.5 Estético

Los bloques de hormigón generalmente son de color gris y presentan superficie rugosa, mientras que en los ladrillos la tonalidad más común es rojiza y según la NTE INEN 3049 Parte 3 mantiene una textura lisa. Según la NTE INEN 3040, la textura de los adoquines de hormigón es uniforme, sin defectos como fisuras o descamaciones, y el color puede ser variado de acuerdo con el fabricante. Se asigna una puntuación de 3 a los adoquines por presentar una apariencia más atractiva con respecto al color en comparación con los ladrillos y bloques, que reciben un puntaje de 2 y 1, respectivamente.

A continuación, se comparan las alternativas planteadas según las puntuaciones previamente asignadas, y considerando una ponderación específica para cada parámetro. El factor técnico y económico son los factores más relevantes con un 30% del peso total de la calificación, seguido por el factor ambiental con un 20%, y por último social y estético con un peso del 10% cada uno.

Tabla 2.11 Ponderación de alternativas (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Aspectos					Total
	Técnico (30%)	Económico (30%)	Social (10%)	Ambiental (20%)	Estético (10%)	
Bloques de hormigón	30	30	10	20	3	93
Ladrillos de arcilla	20	20	7	13	3	63
Adoquines de hormigón	10	10	3	13	10	47

Luego de analizar los aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales y estéticos de los materiales propuestos, se obtuvo que los bloques de hormigón son la opción más adecuada como material de construcción para incorporar la ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial de sus componentes.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Diseños

3.1.1 Caracterización de materiales

3.1.1.1 Ceniza

Granulometría

La ceniza de bagazo de caña de azúcar proviene de un ingenio azucarero ecuatoriano. El material se ensayó tal y como se obtuvo de su lugar de origen, sin someterse a procesos de molienda.

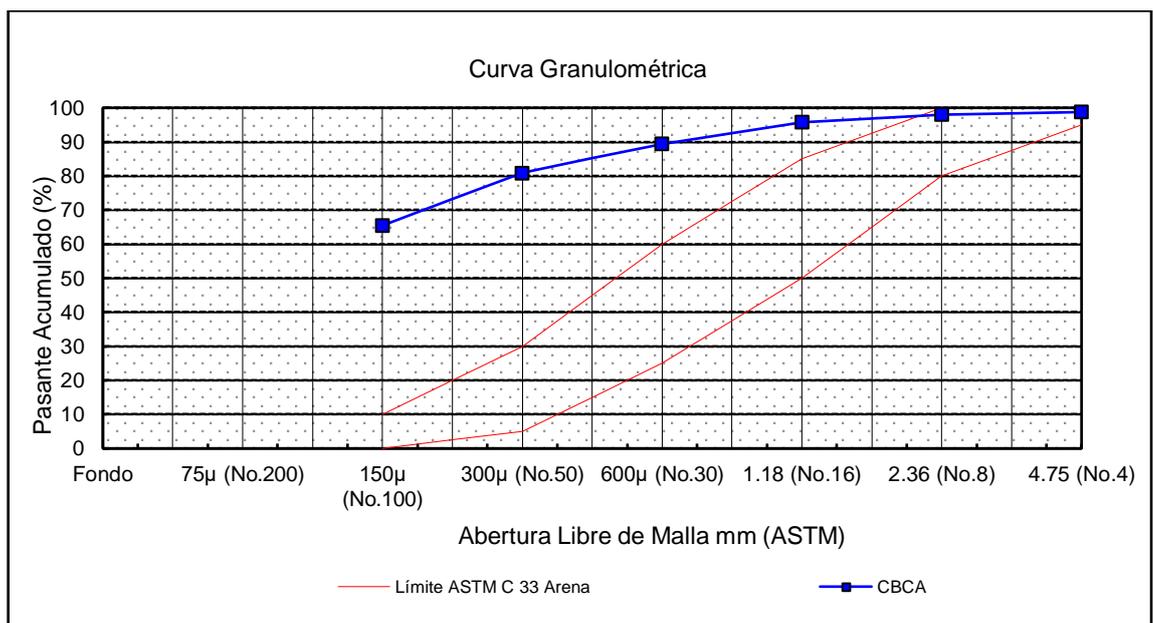


Figura 3.1 Curva Granulométrica CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Como se observa en la Figura 3.1, el material no está dentro de los límites establecidos por la ASTM para agregado fino debido a sus partículas muy finas. En la Tabla 1 que se muestra en la sección Anexos, se evidencia que el material tiene partículas de tamaño menor a 150 μm, y que el 45% pasa por tamiz No. 200, que corresponde a 75 μm.

Peso Volumétrico

Datos del recipiente de medida

Volumen: 0.00287 m³

Masa: 1.58 kg

Tabla 3.1 Peso Volumétrico Suelto y Compactado CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Recipiente + Muestra Suelta			PUS kg/m ³	Recipiente + Muestra Compactada			PUC kg/m ³
Medida 1	Medida 2	Medida 3		Medida 1	Medida 2	Medida 3	
kg	kg	kg		kg	kg	kg	
3.96	3.95	3.95	827	4.31	4.32	4.32	954

A modo de ejemplo se desarrolló el cálculo del peso volumétrico de la masa suelta utilizando la Ecuación 2.2:

$$G = \frac{3.96 + 3.95 + 3.95}{3} = 3.96$$

$$M = \frac{3.96 - 1.58}{0.00287} = 827.41 \frac{kg}{m^3}$$

$$M = 827 \frac{kg}{m^3}$$

Absorción

Tabla 3.2 Datos Absorción CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

ID recipiente	21
Masa del recipiente	152.54 g
Masa muestra SSS (S)	426.33 g
Masa muestra seca al horno + Recipiente	365.84 g
Masa muestra seca al horno (A)	213.3 g

Con la Ecuación 2.5 se obtiene el valor de absorción para el agregado:

$$Absorción \% = \frac{426.33 - 213.30}{213.30} * 100 = 99.87$$

El material tiene una capacidad de absorción de 99.9%.

Gravedad Específica

Gravedad específica aparente

Tabla 3.3 Datos Gravedad Específica CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Masa de la muestra seca A	200.0 g
Matraz + Agua (Línea de calibración) B	1278.8 g
Matraz + Agua (Línea de calibración) + Muestra C	1275.4 g

Utilizando la Ecuación 2.4 se obtuvo el valor de la gravedad específica aparente.

$$G_s = \frac{200.0}{1278.8 + 200.0 - 1275.4} = 0.98$$

3.1.1.2 Arena

Granulometría

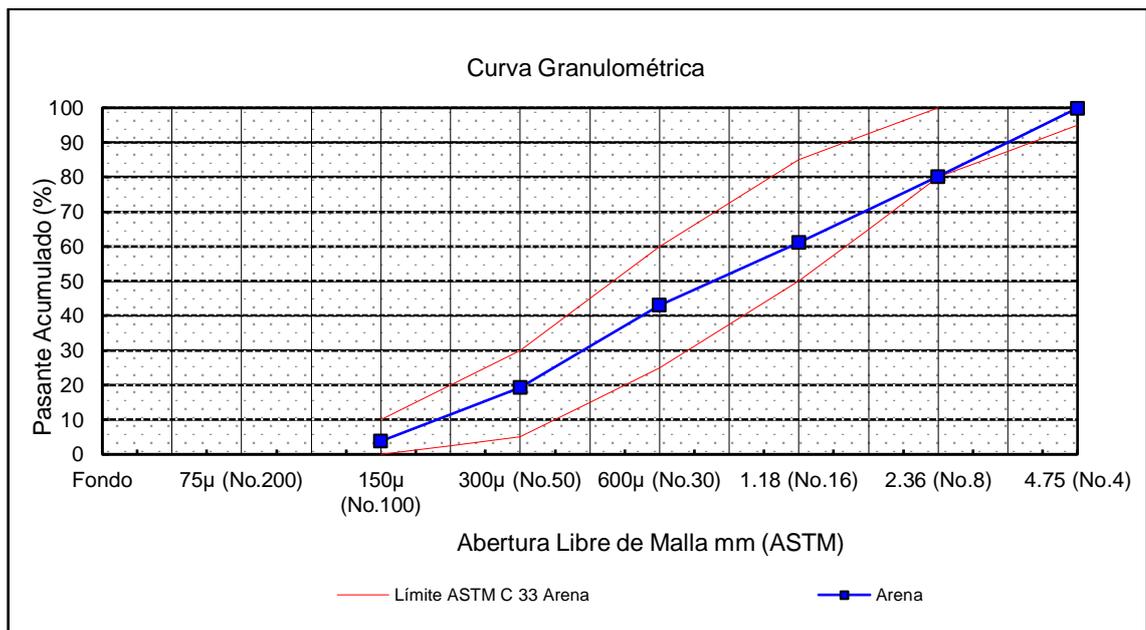


Figura 3.2 Curva Granulométrica Arena (Aguirre & Zurita, 2023)

La Figura 3.2 muestra que el material ensayado se encuentra dentro de los límites de la curva granulométrica, y la Tabla 2 en la sección de Anexos indica que el módulo de finura fue de 2.9, valor que es aceptable según lo establecido en la ASTM C33. Esto indica que la arena es apta para utilizarse como agregado fino en las pruebas experimentales posteriores.

Peso Volumétrico

Datos del recipiente de medida

Volumen: 0.002867 m³

Masa: 1.58 kg

Tabla 3.4 Peso Volumétrico Suelto y Compactado Arena (Aguirre & Zurita, 2023)

Recipiente + Muestra Suelta			PUS kg/m ³	Recipiente + Muestra Compactada			PUC kg/m ³
Medida 1	Medida 2	Medida 3		Medida 1	Medida 2	Medida 3	
kg	kg	kg		kg	kg	kg	
6.48	6.49	6.49	1710	6.77	6.81	6.79	1817

Aplicando la Ecuación 2.2 se determinó que el peso volumétrico de la masa suelta del agregado fue de 1710 kg/m³, mientras que peso volumétrico de la masa compactada fue de 1870 kg/m³.

Absorción

Tabla 3.5 Datos Absorción Arena (Aguirre & Zurita, 2023)

ID recipiente	23
Masa del recipiente	154.3 g
Masa muestra SSS (S)	500.1 g
Masa muestra seca al horno + Recipiente	645.6 g
Masa muestra seca al horno (A)	491.3 g

Con la Ecuación 2.5 se obtiene el valor de absorción para el agregado:

$$\text{Absorción \%} = \frac{500.1 - 491.3}{491.3} * 100 = 1.79$$

El material tiene una capacidad de absorción de 1.8%.

Gravedad Especifica

Gravedad especifica aparente

Tabla 3.6 Datos Gravedad Específica Arena (Aguirre & Zurita, 2023)

Masa de la muestra seca A	430.1 g
Matraz + Agua (Línea de calibración) B	1278.7 g
Matraz + Agua (Línea de calibración) + Muestra C	1551.5 g

Empleando la Ecuación 2.4 se obtuvo el valor de la gravedad específica aparente.

$$G_s = \frac{430.1}{1278.7 + 430.1 - 1551.5} = 2.73$$

3.1.2 Impacto del uso de CBCA en propiedades mecánicas y reológicas de cementos comerciales en Ecuador

3.1.2.1 Cemento GU

La primera prueba se realizó con cemento tipo GU, aplicando la dosificación establecida en la Tabla 2.3 se determinó el flujo de la mezcla de control.

Tabla 3.7 Flujo mezcla de control con Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Medida	Flujo
Diámetro 1	17
Diámetro 2	17
Diámetro 3	17
Diámetro 4	16
Total	67

El flujo de la mezcla de control fue de 67 y los resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días fueron los siguientes:

Tabla 3.8 Resistencia mezcla de control con Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Cubo A	21.9	23.1
Cubo B	18.5	24.2
Cubo C	21.5	22.8
Promedio	20.6	23.4

Posteriormente, se determinó el flujo de la mezcla de prueba con la dosificación de la Tabla 2.4, utilizando CBCA como material de reemplazo.

Tabla 3.9 Flujo mezcla de prueba con Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Medida	Flujo
Diámetro 1	18
Diámetro 2	17
Diámetro 3	17
Diámetro 4	18
Total	70

El flujo con la mezcla de prueba con CBCA fue de 70, valor que se encuentra dentro del rango aceptado. Los resultados de resistencia a la compresión se detallan a continuación:

Tabla 3.10 Resistencia mezcla de prueba con Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Cubo A	10.5	14.1
Cubo B	10.5	13.0
Cubo C	10.3	14.3
Promedio	10.5	13.8

Por último, el índice de impacto a la resistencia a la compresión de muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Impacto a la resistencia a la compresión con Cemento GU (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Control	20.6	23.4
Prueba	10.5	13.8
Reducción	49.2%	40.9%

Se observó una notable reducción en la resistencia a la compresión de las muestras de prueba de 49.2% y 40.9% a los 7 y 28 días, respectivamente. Esto se debe a que el material que se utilizó como reemplazo parcial del cemento no está reaccionando de manera adecuada para formar un compuesto cementicio resistente.

3.1.2.2 Cemento HE

Se realizó el mismo procedimiento empleando cemento tipo HE para analizar si se producen cambios en el impacto a la resistencia a la compresión. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 3.12 Flujo mezcla de control con Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

Medida	Flujo
Diámetro 1	22
Diámetro 2	22
Diámetro 3	21
Diámetro 4	21
Total	86

La fluencia para la mezcla de control con cemento HE fue de 86. Los valores de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días se detallan a continuación:

Tabla 3.13 Resistencia mezcla de control con Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Cubo A	33.1	38.3
Cubo B	33.5	38.8
Cubo C	32.7	37.5
Promedio	33.1	38.2

Se determinó la fluencia para la mezcla de prueba con CBCA como material de reemplazo.

Tabla 3.14 Flujo mezcla de prueba con Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

Medida	Flujo
Diámetro 1	21
Diámetro 2	21
Diámetro 3	21
Diámetro 4	21

Total	84
-------	----

El flujo con cemento HE fue 84 y la resistencia a la compresión que se obtuvo con la mezcla de prueba a los 7 y 28 días se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 3.15 Resistencia mezcla de prueba con Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Cubo A	15.1	21.7
Cubo B	15.5	21.1
Cubo C	15.5	21.1
Promedio	15.4	21.3

Por último, se compararon los valores de resistencia a la compresión para obtener el índice de actividad puzolánica.

Tabla 3.16 Impacto a la resistencia a la compresión con Cemento HE (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	7 días MPa	28 días MPa
Control	33.12	38.21
Prueba	15.37	21.28
Reducción	53.6%	44.3%

Se mantiene la tendencia de reducirse aproximadamente el 50% de la resistencia a la compresión en las muestras de prueba, con reemplazo parcial del cemento utilizando CBCA. El material de reemplazo en condiciones naturales como se lo está empleando no aporta beneficio en términos de resistencia a la compresión.

3.1.3 Evaluación de parámetros

Las dosificaciones que se evaluaron se ensayaron en el laboratorio para analizar la resistencia a la compresión de muestras que se elaboraron en encofrados de 5x5x5 centímetros para un total de seis muestras, tres para ensayar tanto a los 7 como para los 28 días. Para esta etapa de experimentación se utilizó cemento tipo GU y se probaron tres distintos escenarios que incluyen la siguiente variación de parámetros:

Tabla 3.17 Evaluación de escenarios (Aguirre & Zurita, 2023)

Escenario	Parámetros			
	Fijos		Variables	
1	Arena	Flujo	Cemento	a/c
2	Arena	a/c	Cemento	Flujo
3	Cemento	Flujo	Arena	a/c

3.1.3.1 Escenario 1

La dosificación del escenario 1 es la misma que corresponde a la empleada en el análisis del impacto de la resistencia a la compresión en cementos comercial ecuatorianos, desarrollado en la sección 3.1.2, donde se utilizó arena de Ottawa. De esta manera se determinó la incidencia de la ceniza en la resistencia a la compresión.

Las cantidades que se ensayaron fueron las mismas para ambos tipos de cemento y se detallan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.18 Escenario 1 (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Muestra	
	Control g	Prueba g
Cemento	500.0	400.0
Ceniza	0.0	100.0
Arena	1375.0	1375.0
Agua	242.0	325.0

Los resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días son los mismos que se presentan en la Tabla 3.8 y 3.10 para la muestra de control y prueba, respectivamente.

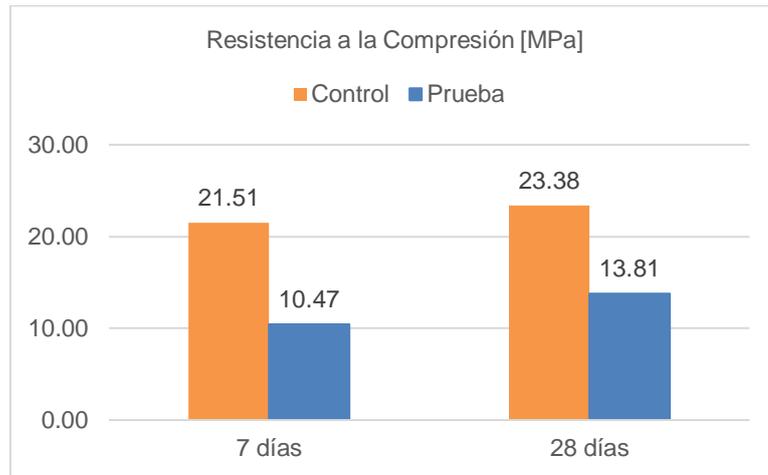


Figura 3.3 Resistencia a la compresión Escenario 1 (Aguirre & Zurita, 2023)

En la Figura 3.3 se observa que la resistencia a la compresión de la muestra de prueba tiene una considerable reducción en los dos periodos ensayados, de aproximadamente la mitad del valor de la muestra de control.

3.1.3.2 Escenario 2

En este escenario, a diferencia del anterior, se utilizó arena de origen natural. Se probaron dosificaciones previamente consultadas en la revisión de literatura, con reemplazos de 20 y 30% del cemento.

En la Tabla 3.18 se detallan las dosificaciones con reemplazo del 20% y 30% del cemento.

Tabla 3.19 Escenario 2 (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Reemplazo 20%		Reemplazo 30%	
	Control g	Prueba g	Control g	Prueba g
Cemento	480.0	384.0	570.0	399.0
Ceniza	0.0	96.0	0.0	155.4
Arena	1440.0	1440.0	1282.5	1282.5
Agua	240.0	240.0	267.9	267.9

En la Tabla 3.19 y las Figuras 3.4 y 3.5 se muestran los valores que se obtuvieron en el ensayo de resistencia a la compresión para ambos casos de reemplazo.

Tabla 3.20 Resistencia a la compresión Escenario 2 (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	Reemplazo 20%		Reemplazo 30%	
	7 días MPa	28 días MPa	7 días MPa	28 días MPa
Control	11.2	14.1	23.9	29.3
Prueba	2.2	3.1	2.6	3.5
Reducción	80.1%	77.9%	89.1%	88.1%

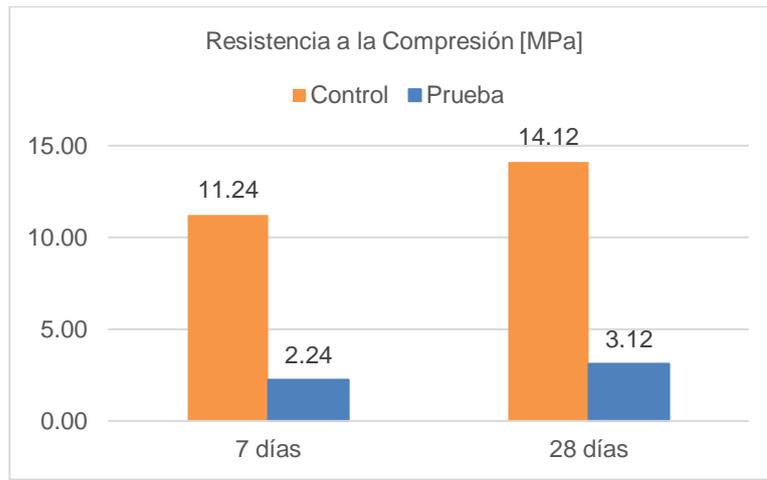


Figura 3.4 Resistencia a la compresión Escenario 2 Reemplazo 20% (Aguirre & Zurita, 2023)

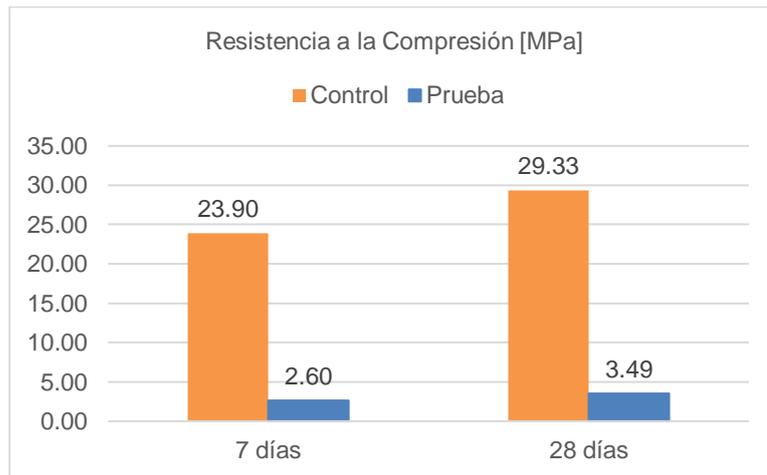


Figura 3.5 Resistencia a la compresión Escenario 2 Reemplazo 30% (Aguirre & Zurita, 2023)

La amplia reducción en los resultados de resistencia a la compresión en las muestras de prueba se debe a que, en este ensayo, la mezcla no era cohesiva debido a la capacidad de absorción de la ceniza que redujo la cantidad de agua disponible para que se produjera una reacción adecuada con el aglutinante. Afectando la resistencia a la compresión de la muestra. Por esto, se plantea la posibilidad de un reemplazo parcial de las proporciones de arena.

3.1.3.3 Escenario 3

Se hicieron ensayos con un reemplazo parcial de la arena del 20 y 50%. En este escenario se empleó arena de Ottawa. Las dosificaciones utilizadas se especifican en la Tabla 3.20.

Tabla 3.21 Escenario 3 (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Reemplazo 20%		Reemplazo 50%	
	Control g	Prueba g	Control g	Prueba g
Cemento	500.0	500.0	500.0	500.0
Ceniza	0.0	275.0	0.0	687.5
Arena	1375.0	1100.0	1375.0	687.5
Agua	242.0	445.0	242.0	722.5

En la Tabla 3.21 y las Figuras 3.6 y 3.7 se muestran los valores que se obtuvieron en el ensayo de resistencia a la compresión para ambos casos de reemplazo.

Tabla 3.22 Resistencia a la compresión Escenario 3 (Aguirre & Zurita, 2023)

Resistencia	Reemplazo 20%		Reemplazo 50%	
	7 días MPa	28 días MPa	7 días MPa	28 días MPa
Control	20.63	23.38	20.63	23.38
Prueba	9.98	16.41	6.82	13.83
Reducción	51.6%	29.8%	66.7%	40.8%

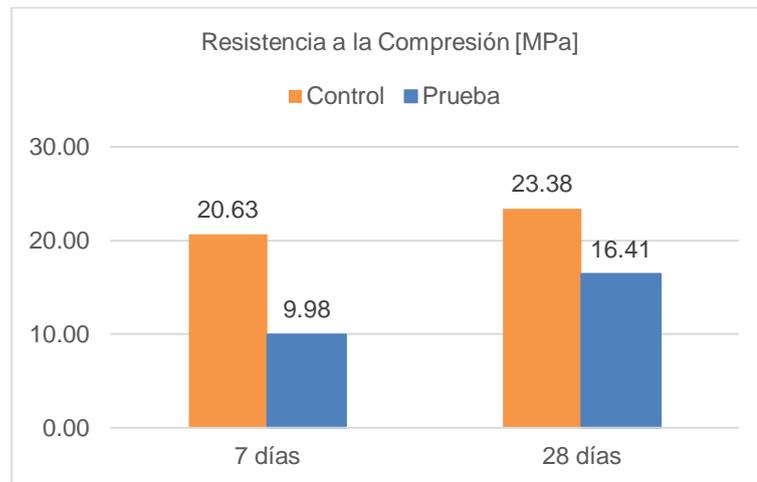


Figura 3.6 Resistencia a la compresión Escenario 3 Reemplazo 20% (Aguirre & Zurita, 2023)

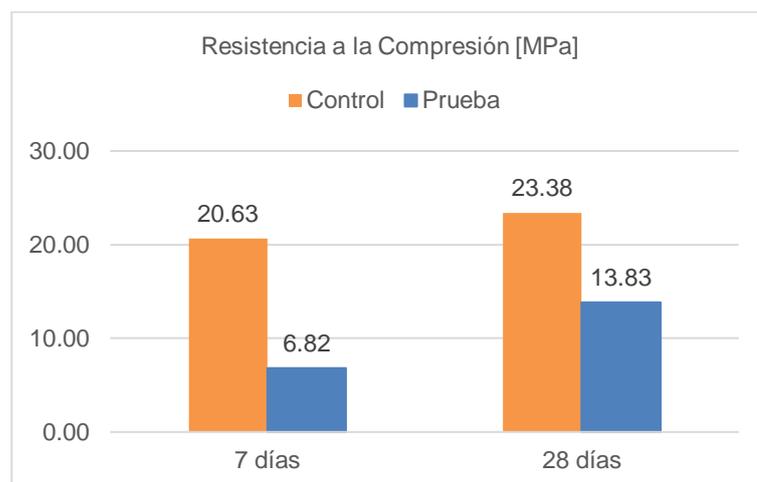


Figura 3.7 Resistencia a la compresión Escenario 3 Reemplazo 50% (Aguirre & Zurita, 2023)

Los resultados indican que la muestra de prueba con reemplazo parcial de arena del 20% presentó una resistencia a la compresión más cercana al valor de referencia. Esta situación se puede comparar con el Escenario 1, debido a que se emplean los mismos materiales y condiciones de control, pero la variación de los parámetros fue diferente. El Escenario 3 evidencia que la muestra de prueba con reemplazo parcial de la arena presenta un mejor desempeño con respecto a

la resistencia a la compresión en contraste con la muestra de prueba del Escenario 1, con un reemplazo parcial del cemento.

Por lo tanto, se decidió evaluar el comportamiento del bloque propuesto con dosificaciones que consideren variar únicamente el parámetro de reemplazo de la arena.

3.1.4 Proporciones de diseño

Las dosificaciones que se analizaron proponen un reemplazo parcial de la arena como se muestra en la Tabla 3.23, 3.24 y 3.25. Se optó por reemplazar el 5, 10 y 15% del agregado fino y una a/c constante de 0.59, para evaluar su comportamiento en términos de resistencia a la compresión. Las proporciones de los materiales, cemento: arena: CBCA se detallan en la Tabla 3.22.

Tabla 3.23 Proporciones de los materiales (Aguirre & Zurita, 2023)

Cemento	Arena	%	CBCA
1	4	0%	0
	3.8	5%	0.2
	3.6	10%	0.4
	3.4	15%	0.6

Tabla 3.24 Diseño en seco por m³ (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Control kg	CBCA 5% kg	CBCA 10% kg	CBCA 15% kg
Cemento	417.0	417.0	417.0	417.0
Ceniza	0.0	83.4	166.8	250.2
Arena	1668.0	1584.6	1501.2	1417.8
Agua	246.6	246.6	246.6	246.6

Tabla 3.25 Diseño SSS por m³ (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Control kg	CBCA 5% kg	CBCA 10% kg	CBCA 15% kg
Cemento	417.0	417.0	417.0	417.0
Ceniza	0.0	84.9	169.8	254.7
Arena	1697.9	1613.0	1528.1	1443.2
Agua	246.6	246.6	246.6	246.6

En el diseño de la mezcla se consideró la corrección por humedad de la arena y la ceniza. Debido a la capacidad de absorción de la ceniza y las complicaciones que se presentaron en pruebas anteriores, se adicionó agua para permitir que reaccione adecuadamente con el cemento.

Tabla 3.26 Diseño para la mezcla por m³ (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Control kg	CBCA 5% kg	CBCA 10% kg	CBCA 15% kg
Cemento	417	417	417	417
Ceniza	0.0	88.5	176.9	265.4
Arena	1688.9	1604.5	1520.0	1435.6
Agua	255.5	333.3	411.1	488.9

Los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días se presentan en la Tabla 3.26.

Tabla 3.27 Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (Aguirre & Zurita, 2023)

Periodo	Control MPa	CBCA 5% MPa	CBCA 10% MPa	CBCA 15% MPa
7 días	13.3	8.2	6.6	4.6
28 días	17.1	12.6	11.0	8.3
Incremento	28.6%	53.7%	66.7%	80.4%

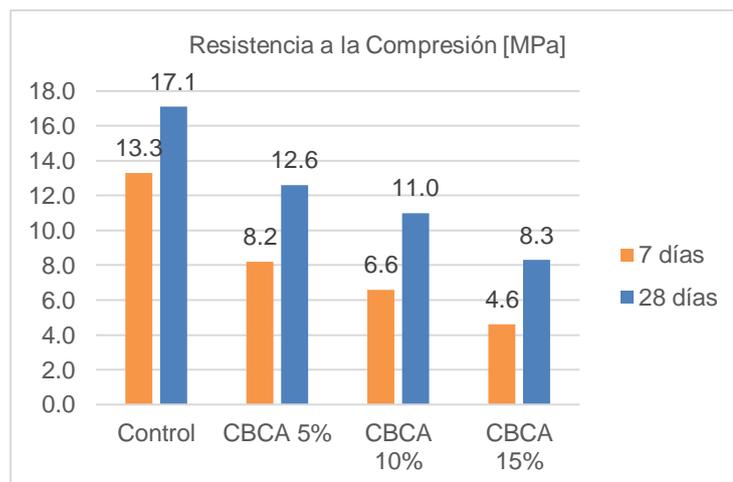


Figura 3.8 Resistencia a la compresión a los 7 días y 28 días (Aguirre & Zurita, 2023)

Para la fabricación del bloque, se seleccionó la dosificación con reemplazo parcial del agregado fino del 15%. Esta elección permitió el mayor reemplazo manteniendo resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días que cumplieron con los estándares de la Tabla 2.8, alcanzando un valor de 4.6 MPa y 8.3 MPa, respectivamente. No obstante, los resultados a los 28 días presentaron aumentos significativos, con incrementos de hasta el 80% en comparación con los valores que se obtuvieron a los 7 días.

Sin embargo, como se detalla en la sección de elaboración del bloque, la capacidad de compactación de la máquina bloquera causó que la cantidad de agua requerida para obtener la consistencia deseada se reduzca. Esto no supone un factor adverso en la resistencia a la compresión, debido a la relación agua cemento, donde al reducir la cantidad de agua, se aumenta la resistencia.

Se optó por ajustar la dosificación escogida para reducir el consumo de agua y prevenir asentamientos que resultaban visibles debido al propio peso del bloque, como se muestra en la Figura 3.9. La dosificación modificada utilizó una a/c de 0.53 y se presenta en la Tabla 3.27.

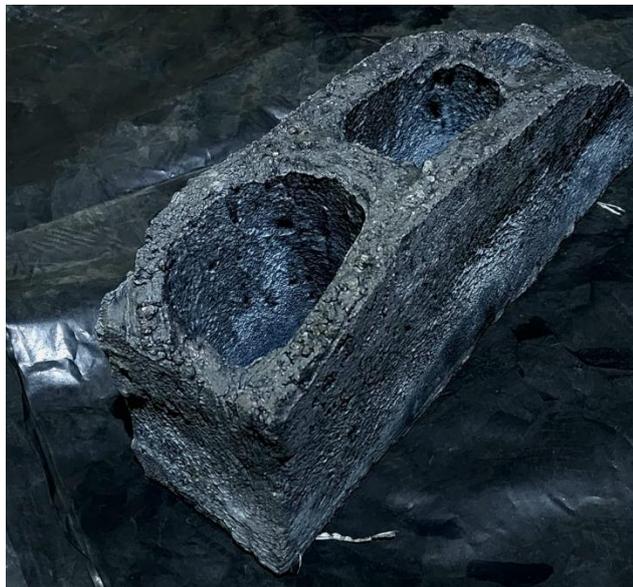


Figura 3.9 Bloque CBCA con exceso de agua (Aguirre & Zurita, 2023)

Tabla 3.28 Dosificación y resistencia CBCA 15% ajustada (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Diseño			Resistencia a la compresión MPa	
	Seco kg	SSS kg	Mezcla kg		
Cemento	417.0	417.0	417	7 días	6.1
Ceniza	250.2	254.7	263.4		
Arena	1417.8	1443.2	1433.5	28 días	8.5
Agua	219.6	219.6	466.0		

Por cada saco de cemento de 50 kg se obtuvieron las cantidades que se presentan en la Tabla 3.28. Adicionalmente, se adjuntan las proporciones para un saco en relación con una parihuela de 0.3x0.3x0.3 m, con un volumen de 0.027 m³, así como para una parihuela destinada a cada material, manteniendo la misma superficie.

Tabla 3.29 Dosificación por saco y parihuela (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Saco 50 kg kg	Parihuela 0.3x0.3x0.3 m	Parihuela 0.3x0.3xh m
Cemento	50.0		
Ceniza	30.5	1.4	0.41
Arena	173.0	3.8	0.37
Agua	26.0		

3.1.5 Elaboración del bloque

3.1.5.1 Molde de madera

En primera instancia se probaron diferentes dosificaciones en un molde de dimensiones de 40x10x20 centímetros como se indica en los planos de detalle, para comprobar la consistencia y comportamiento de la mezcla. Los materiales fueron mezclados en una concretera y a medida que se llenaba el molde, se compactó manualmente para obtener una distribución adecuada del material en su interior. Posteriormente, se simuló el proceso de vibrado en una tamizadora para agregado grueso para garantizar una compactación más efectiva del material como se muestra en la Figura 3.10.



Figura 3.10 Vibrado para molde de madera (Aguirre & Zurita, 2023)

Sin embargo, surgieron complicaciones en la manipulación del molde debido a que el material de la mezcla se adhería a las paredes del encofrado. Al desmoldar, se requería una fuerza considerable, ya que el bloque quedaba atrapado y resultaba en una unidad incompleta o se desmoronaba, como se evidencia en la Figura 3.11 y 3.12.



Figura 3.11 Material adherido a las paredes del molde (Aguirre & Zurita, 2023)



Figura 3.12 Bloque CBCA incompleto (Aguirre & Zurita, 2023)

Se optó por forrar el molde con papel contact para facilitar el desencofrado, especialmente en las áreas donde se presentó mayor adherencia del material. No obstante, después de uno o dos usos como máximo, el papel se despegaba debido a la fricción y se tenía el mismo problema.

Finalmente, solo fue posible elaborar dos unidades completas debido a las complicaciones señaladas previamente.



Figura 3.13 Unidades de bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

3.1.5.2 Molde metálico

El molde metálico presentó mayor facilidad en su manipulación ya que el material no se adhería a las paredes interiores. Siguiendo un procedimiento similar al molde de madera, la mezcla se preparó en una concretora y se compactó manualmente mientras se colocaba el material en el encofrado.



Figura 3.14 Material compactado en molde metálico (Aguirre & Zurita, 2023)

Sin embargo, no se sometió a vibración debido a que la tamizadora no estaba disponible en el periodo de experimentación con este tipo de encofrado. En vista

de las complicaciones que se presentaban al intentar producir bloques completamente artesanales, se planteó la posibilidad de realizar pruebas en una máquina bloquera.



Figura 3.15 Bloque CBCA elaborado en molde metálico (Aguirre & Zurita, 2023)

3.1.5.3 Máquina bloquera

El material necesario para la elaboración de los bloques se transportó en sacos hasta la ubicación de la bloquera. Debido a que no se disponía de una balanza para pesar los materiales, se adquirieron baldes para establecer cantidades estimadas correspondientes a cada componente para producir un bloque.



Figura 3.16 Material en recipientes plásticos (Aguirre & Zurita, 2023)

Se utilizó una máquina mezcladora para obtener la consistencia requerida y posteriormente se colocó la mezcla en la bloquera.



Figura 3.17 Mezclado de materiales (Aguirre & Zurita, 2023)

La bloquera permitió una compactación más eficiente de la mezcla debido a su capacidad para ejercer una vibración uniforme durante la formación de los bloques. Además de mejorar la calidad del proceso, tuvo un impacto positivo en el aspecto visual de los bloques.



Figura 3.18 Máquina bloquera (Aguirre & Zurita, 2023)

La máquina bloquera favoreció a la cohesión interna de la mezcla, resultando en una superficie más uniforme en cada bloque. Esto a más de contribuir a la resistencia y durabilidad, brinda un producto estéticamente más atractivo.



Figura 3.19 Bloques recién moldeados (Aguirre & Zurita, 2023)



Figura 3.20 Bloques CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)



Figura 3.21 Cuadrilla de trabajo (Aguirre & Zurita, 2023)

3.1.6 Evaluación del bloque

3.1.6.1 Bloque comercial

Se ensayaron bloques de tipo Victoria, los resultados de las propiedades del material se detallan a continuación:

Tabla 3.30 Dimensiones Bloque comercial (Aguirre & Zurita, 2023)

Bloque	Ancho mm	Altura mm	Longitud mm	Esp. tabique mm	Esp. Cara mm	Att (tab) mm ²	Atn mm ² /m ²
A	91	184	390	22	28	8633.2	120410
B	90	184	389	22	28	9112.6	127200
C	89	185	389	24	28	9047.5	125390
Prom	90	184	389	22	28	8931	124330

Las dimensiones cumplen con lo especificado en la norma NTE INEN 3066 en lo que respecta a largo y ancho del bloque, y espesor del tabique. Sin embargo, la altura no se encuentra dentro del rango de tolerancia aceptable.

Los pesos de los bloques se presentan en la Tabla 3.30.

Tabla 3.31 Pesos Bloque comercial (Aguirre & Zurita, 2023)

Masa	Bloque		
	A kg	B kg	C kg
Mi	0.75	0.85	0.75
Ms	3.75	3.85	3.70
Md	3.00	3.05	2.95

Para el cálculo de la absorción se utilizó la Ecuación 2.8 y 2.9, y para determinar la densidad del bloque se empleó la Ecuación 2.11 donde se aplicaron los datos de la Tabla 3.30. Los resultados de los parámetros indicados se muestran en la Tabla 3.31.

Tabla 3.32 Absorción y Densidad Bloque comercial (Aguirre & Zurita, 2023)

Parámetro	Bloque			
	A	B	C	Promedio
Absorción kg/m ³	250	267	254	257
Absorción	25.0%	26.2%	25.4%	25.6%
Densidad kg/m ³	1000	1017	1000	1006
Volumen neto m ³	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030
Volumen neto mm ³	3000000	3000000	2950000	2983333
h mm	184	186	185	185
Área neta mm ²	16300	16160	15920	16130

En el cálculo de la resistencia a la compresión, se determinó el área neta y bruta de los bloques con la Ecuación 2.13 y 2.14, respectivamente. Por consiguiente, la resistencia a la compresión neta y bruta, se encontró con la Ecuación 2.15 y 2.16, respectivamente, y se presentan en la Tabla 3.32.

Tabla 3.33 Resistencia a la compresión Bloque comercial (Aguirre & Zurita, 2023)

Bloque	Área		Fuerza max	Resistencia	
	Neta	Bruta		Neta	Bruta
	mm ²		N	MPa	
A	16300	35330	74583.9	4.6	2.1
B	16160	35170	49866.8	3.1	1.4
C	15920	34650	79380.4	5.0	2.3
Promedio				4.2	1.9

El valor promedio de resistencia a la compresión indica que los bloques comerciales tipo Victoria cumplen con el mínimo establecido en la Tabla 2.8.

3.1.6.2 Bloque CBCA

Se ensayaron bloques CBCA elaborados en la máquina bloquera con la dosificación de la Tabla 3.27, los resultados de las propiedades del material se detallan a continuación:

Tabla 3.34 Dimensiones Bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Bloque	Ancho mm	Altura mm	Longitud mm	Esp. tabique mm	Esp. Cara mm	Att (tab) mm ²	Atn mm ² /m ²
A	100	191	400	21	21	8051.7	105660
B	99	192	399	21	21	8364	109280
C	99	192	400	21	21	8556.8	111700
Prom	99	191	400	21	21	8324	108880

Las dimensiones cumplen con lo especificado en la norma NTE INEN 3066 en lo que respecta a largo, ancho y altura del bloque, así como el espesor del tabique.

Los pesos de los bloques CBCA se presentan en la Tabla 3.34.

Tabla 3.35 Pesos Bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Masa	Bloque		
	A kg	B kg	C kg
Mi	2.80	2.70	2.65
Ms	5.30	5.15	5.15
Md	4.75	4.55	4.55

El procedimiento para el cálculo de absorción fue el mismo aplicado a los bloques comerciales. Los resultados se muestran en la Tabla 3.35.

Tabla 3.36 Absorción y Densidad Bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Parámetro	Bloque			
	A	B	C	Promedio
Absorción kg/m ³	220	245	240	235
Absorción	11.6%	13.2%	13.2%	12.7%
Densidad kg/m ³	1900	1857	1820	1859
Volumen neto m ³	0.0026	0.0024	0.0026	0.0026
Volumen neto mm ³	2500000	2450000	2500000	2483333

h mm	191	192	192	191
Área neta mm ²	13110	12780	13040	12980

El cálculo de resistencia a la compresión fue similar al utilizado en los bloques comerciales. Los resultados a los 7 y 14 días se presentan en la Tabla 3.36 y 3.37, respectivamente.

Tabla 3.37 Resistencia a la compresión 7días Bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Bloque	Área		Fuerza max	Resistencia	
	Neta	Bruta		Neta	Bruta
	mm ²		N	MPa	
A	13110	39830	48354.2	3.7	1.2
B	12780	39670	79519.3	6.2	2.0
C	13040	39700	82796.9	6.3	2.1
Promedio				6.3	1.8

El valor promedio de resistencia a la compresión a los 7 días indica que los bloques CBCA cumplen con el mínimo establecido en la Tabla 2.8 y presentan mejor comportamiento que el bloque comercial.

Tabla 3.38 Resistencia a la compresión 14días Bloque CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

Bloque	Área		Fuerza max	Resistencia	
	Neta	Bruta		Neta	Bruta
	mm ²		N	MPa	
A	13110	39530	107582	8.2	2.7
B	12780	39630	103387	8.1	2.6
C	13040	39670	102952	7.9	2.6
Promedio				8.1	2.6

La resistencia a la compresión a los 14 días evidencia un incremento notable en los esfuerzos, con un aumento promedio de 1.8 MPa. A pesar de tener un comportamiento más resistente, la densidad de los bloques CBCA también aumenta con respecto al comercial. Por lo tanto, es un aspecto a considerar en los diseños de proyectos residenciales.

3.1.7 Aplicación en proyectos residenciales

Se utilizaron los planos de una vivienda de una planta, situada en una urbanización del sector La Aurora del cantón Daule, como referencia para estimar la cantidad de bloques que se necesitaría para las paredes de mampostería de una residencia. La distribución interna de la casa incluye una sala, comedor, cocina, tres dormitorios y dos baños completos.



Figura 3.22 Vivienda referencial amoblada

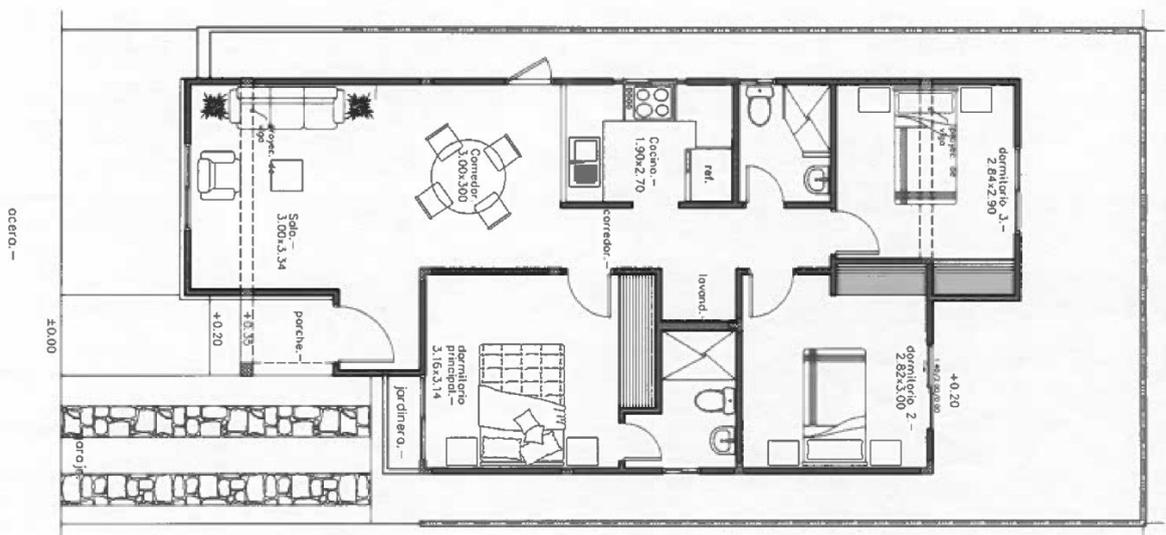


Figura 3.23 Vivienda referencial arquitectónico

Se estableció una altura de entrepiso de 2.35 m, considerando 12 columnas de 25x25 cm. El área total que se obtuvo al finalizar el levantamiento de los muros fue de 143 m², y se estimó que se necesitan aproximadamente 1748 bloques para erigir las paredes.

En la Figura 3.24 se muestra el modelado de la vivienda.

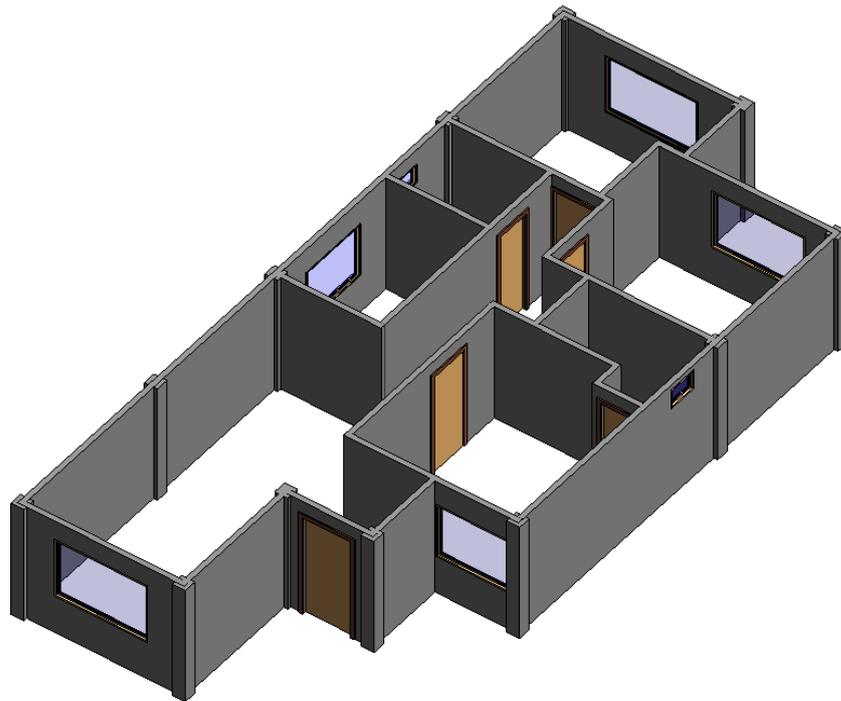


Figura 3.24 Modelado vivienda (Aguirre & Zurita, 2023)

La Figura 3.25 ilustra la apariencia de una pared de mampostería empleando bloques CBCA con una junta de mortero de 1 cm.



Figura 3.25 Pared de mampostería con Bloques CBCA (Aguirre & Zurita, 2023)

3.1.8 Discusión de resultados

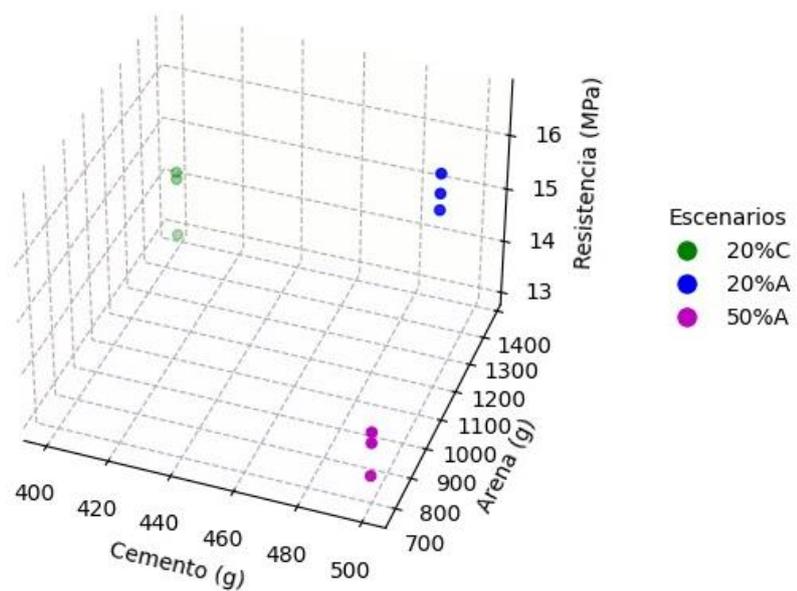


Figura 3.26 Gráfico de Dispersión 3D (Aguirre & Zurita, 2023)

Como se observa en la Figura 3.26, la mezcla del reemplazo parcial de la arena obtuvo mejores rendimientos con respecto a la resistencia a la compresión. Sin embargo, ambos parámetros al 20% de reemplazo tanto para el cemento como la arena estuvieron alejadas del valor de referencia con una reducción del 40.9% y 29.8% respectivamente. Esto se debe a la intención de aprovechar el residuo en su totalidad, sin someter el material a un proceso adicional de calcinación o molienda, que afecta la composición y la morfología de la CBCA (França et al., 2023b; Xu et al., 2018; Zaheer & Tabish, 2023).

Maldonado-García et al. (2018) empleó CBCA cruda, pasante del Tamiz #200 en un estudio, consiguiendo resultados favorables con este procedimiento, debido a la eliminación de partículas de carbono no quemadas y reducción del tamaño de partícula. Además, se observó una mejora en la durabilidad a largo plazo. No obstante, según la Tabla 1 en la sección de anexos, en el análisis granulométrico de la CBCA se observó que solo el 45% del material total pasante del Tamiz #200 sería utilizable. Esto implica una considerable reducción en la cantidad disponible para su uso efectivo, cediendo un gran porcentaje como desperdicios no aprovechables.

Por esto, el material de reemplazo utilizado en el proyecto no presentó una buena reacción con el cemento, como se evidencia en las Tablas 3.8 y 3.15, y en estudios similares (Jittin et al., 2021; Xu et al., 2018). Esto es causado por la presencia de impurezas como carbón no quemado y compuestos inertes como sílice cristalina (Xu et al., 2018); también se revela partículas fibrosas no quemadas (Jittin et al., 2021) en los gráficos del ensayo SEM, especialmente en las Figuras 2.6 y 2.9, provocando una reducción de la resistencia a la compresión.

El reemplazo de la CBCA no se limita únicamente al cemento, también es viable como agregado fino al pasante del Tamiz #4. Sin embargo, el material presenta características porosas con partículas rugosas, angulares e irregulares como se presencia en la Figura 2.8, esto conlleva una mayor fricción entre partículas, disminuyendo la trabajabilidad. Además, por su capacidad de absorción de agua, estas partículas reducen el agua libre de la mezcla en comparación a un agregado fino natural (Bheel et al., 2022). Esto resulta en una mayor demanda de agua como

se evidencia en las mezclas, debido a la propiedad higroscópica y la compleja microestructura enrevesada con una mayor área de superficie (Minnu et al., 2021) Los reemplazos en los estudios de mortero que incluyeron sustituciones de arena al 5%, 10% y 15%, mostraron notables mejoras en los resultados en términos de resistencia a la compresión a los 28 días. Se observaron incrementos del 53.7%, 66.7% y 80.4%, respectivamente, en comparación a los 7 días. Esto sugiere posibilidades de mejora en los valores en resistencia a la compresión a largo plazo, debido a la naturaleza del material. Sin embargo, a medida que se aumentó la cantidad reemplazada de arena, se produjeron reducciones de resistencia a la compresión, con resultados de 8.2 MPa, 6.6 MPa y 4.6 MPa, respectivamente a los 7 días, y de 12.6 MPa, 11.0 MPa y 8.3 MPa, respectivamente, a los 28 días. A pesar de las disminuciones, los valores se mantuvieron por encima del mínimo establecido en la NTE INEN 3066. La dosificación ajustada con el 15% de reemplazo presentó resultados de resistencia a la compresión de 6.1 MPa a los 7 días y 8.5 MPa a los 28 días. Se mantuvo la tendencia de mejorar la resistencia a lo largo del tiempo, registrando un aumento del 39.4%.

Los bloques CBCA con una sustitución de arena del 15%, ensayados a los 7 y 14 días, presentaron resistencias a la compresión de 6.3 MPa y 8.1 MPa. Estos valores superaron un 57.5% y 102.5%, respectivamente, el valor mínimo que indica la norma vigente. En contraste con los bloques comerciales que alcanzaron un valor de 4.2 MPa, los bloques CBCA tuvieron incrementos de 50% y 93% a los 7 y 14 días.

Por otro lado, el peso de los bloques propuestos es alrededor de 18 kN/m³. Según la NEC-SE-CG (Cargas no sísmicas), el peso unitario de un bloque hueco de hormigón se recomienda de 12 kN/m³ aproximadamente. En comparación con los bloques comerciales que pesaron 10 kN/m³, el bloque CBCA presentó un aumento del 80%.

3.2 Especificaciones técnicas

Producto: Bloque hueco de hormigón con CBCA de 40x20x10

Descripción de uso: Bloques huecos de hormigón con CBCA usados en la construcción de mampostería no estructural.

Atributos específicos

- **Condiciones de elaboración**

Los materiales utilizados en la fabricación deben cumplir con los requerimientos establecidos en las normas vigentes en lo que respecta a cemento, áridos y agua, para asegurar su durabilidad, resistencia y calidad. Para la ceniza de bagazo de caña de azúcar se debe hacer una caracterización física – mecánico del material. La materia prima que se utilice en la elaboración del producto será de origen nacional.

- **Personal**

El personal mínimo recomendado para la fabricación del producto es de una cuadrilla conformada por 3 trabajadores.

- **Formación, capacitación/experiencia**

Se requiere 1 trabajador con experiencia mínima de 6 meses en la fabricación del producto especificado, con la respectiva documentación (copias de certificados, facturas, actas de entrega, contratos) que respalde la experiencia establecida.

Se requiere 2 trabajadores con experiencia mínima de 2 meses en la fabricación del producto especificado o en áreas de construcción/albañilería, con la respectiva documentación (copias de certificados, facturas, actas de entrega, contratos) que respalde la experiencia establecida.

- **Condiciones particulares del bien**

Materia prima

Los requerimientos técnicos del bloque se detallan en la norma NTE INEN 3066, en el siguiente cuadro se identifican las especificaciones de los materiales empleados como materia prima en el bloque:

Cemento	Cemento hidráulico que cumpla con la norma NTE INEN 490, NTE INEN 2380 o NTE INEN 152.
Áridos	Deben cumplir con los requisitos de la norma NTE INEN 872.
Agua	Debe ser potable, libre de cantidades apreciables de ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas.
Ceniza	Residuo proveniente de ingenios azucareros ecuatorianos.

Tipo de bloque

Según la norma NTE INEN 3066, la clasificación del bloque de hormigón de acuerdo con su uso corresponde al TIPO B:

Clase	Uso
B	Mampostería no estructural

Medidas

Las medidas del bloque son las siguientes:

La tolerancia máxima para largo, ancho y alturas reales, debe ser ± 3 mm, de las respectivas medidas nominales. El espesor mínimo de las paredes y tabiques debe ser de 13 mm para los bloques Clases B y C.

Almacenamiento

Procurar que el bloque se almacene en lugares nivelados y limpios, con protección ante el sol y la lluvia, los arrumes no deben exceder los 1.50 metros de altura para evitar volcamientos y facilitar la manipulación posterior.

Acabado

Según la norma NTE INEN 3066, los bloques deben presentar la misma apariencia (forma, textura y tonalidad) de aquellos que fueron presentados como muestra referencial por el fabricante, previo a la compra.

- ✓ El lote de bloques, a la entrega, no debe presentar más del 5% de unidades que tengan uno o más de los siguientes defectos:
- ✓ Dimensiones reales por fuera de las dimensiones nominales.
- ✓ Despostillados de diámetro mayor a 25 mm en las caras del bloque.
- ✓ Fisuras con un ancho mayor a 0.5 mm y longitudinales mayores a 25% de la altura modular en las caras del bloque.
- ✓ Unidades rotas.

- **Condiciones de entrega del bien**

El proveedor deberá presentar los resultados de las pruebas de resistencia del producto, previo a la entrega del bloque. No se aceptarán bloques rotos o en mal estado.

Para establecer un registro adecuado y evitar inconvenientes en la entrega del producto, se llevará un acta de control con la toma de muestras de acuerdo con lo estipulado en la norma correspondiente para su análisis, registrando todos los

datos, y otorgando una copia a las personas involucradas en la venta y entrega del producto.

- **Administración**

La entidad contratante deberá:

- ✓ Entregar al proveedor la documentación de recepción del producto.
- ✓ Verificar la calidad del producto y en caso de encontrar unidades defectuosas, solicitar los cambios respectivos.

- **Maquinaria**

Se deberá disponer de la siguiente maquinaria mínima por cada cuadrilla de trabajadores:

Cantidad	Maquinaria mínima
1	Máquina mezcladora
1	Máquina bloquera
1	Pala
1	Carretilla

- **Transporte**

En la carga y descarga del producto a los vehículos de transporte, se realizará con las precauciones respectivas para evitar el daño de los bloques, como fisuras y/o roturas.

El transporte se realiza por medio terrestre.

- **Forma de pago**

Se establecen dos métodos de pago que se detallan a continuación:

Contra entrega: La entidad contratante tendrá la opción de realizar el pago total por la compra. En el caso de entregas parciales, el pago será contra entrega parcial el producto, de acuerdo con lo acordado entre el proveedor y el contratante.

Anticipo: La entidad contratante podrá otorgar anticipos del valor total de la compra, acordados previamente con el proveedor, quien deberá rendir la garantía por igual del valor del anticipo.

- **Garantías**

Garantía por anticipo: En caso de pactarse un pago por anticipo, el proveedor deberá rendir, previamente, garantías por igual valor del anticipo.

Garantía técnica: Se cubrirá el 100% del producto con daños o afectaciones causadas por fábrica o mala calidad de la materia prima empleada para la elaboración del bloque.

- **Especificaciones en obra**

Los bloques serán colocados en superficies previamente niveladas, las uniones verticales deberán situarse sobre el centro del bloque inferior, creando un sistema de trabazón.

Se colocará mortero con un espesor adecuado en todas las juntas verticales y horizontales de la pared de mampostería. Espesor mínimo de 1 centímetro.

La pared de mampostería se elevará en hileras horizontales y sucesivas, hasta alcanzar el nivel y forma especificado en el proyecto.

Prever el paso de instalaciones sanitarias, eléctricas u otras, para ajustar la distribución del producto.

El espesor de las paredes se especifica en los planos. El espesor de las paredes de mampostería no estructural con bloques huecos será de 10 centímetros.

No se admitirán bloques en pedazos o medios, a no ser que el sistema de trabazón lo exija.

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

En este capítulo se realizó el estudio de impacto ambiental con respecto a las actividades involucradas en el proceso de fabricación del bloque, en relación con el objetivo específico planteado: *“Analizar el impacto ambiental del bloque CBCA para la determinación de su contribución a los ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenible), y 12 (Producción y Consumo Responsable) para la gestión sostenible de recursos y la reutilización de desechos”*.

La mezcla para bloques sostenibles que se plantea, utiliza cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial de los componentes de una mezcla común para bloques de mampostería no estructural. Su propósito es contribuir con el cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 12, debido a que se propone reutilizar un residuo para emplearlo como constituyente de un nuevo material de construcción que reduzca la huella de carbono generada por la fabricación de bloques. Teniendo en cuenta la creciente demanda de materias primas para la construcción de viviendas en la provincia de Guayas, es posible utilizar esta propuesta para aportar sostenibilidad a los proyectos, garantizando su funcionamiento y el cumplimiento de la normativa vigente.

Los componentes del bloque son: arena y cemento, que se adquirieron en establecimientos especializados en la venta de materiales de construcción; CBCA proporcionada por el cliente, y agua. El proceso de fabricación se ejecutó en el Laboratorio de Geotecnia y Construcción, utilizando inicialmente un molde de madera, y luego un molde metálico. Posteriormente, se hicieron pruebas en una máquina bloquera para mejorar la producción y optimizar tiempos. Sin embargo, en esta evaluación se consideró el impacto causado por los materiales durante la fabricación del bloque y la limpieza de los equipos, más no procesos adicionales como el consumo de energía involucrado en la mezcla y vibrado en la bloquera.

4.2 Línea base ambiental

A continuación, se detallan los factores ambientales potencialmente afectados por los materiales utilizados para la fabricación de los bloques y la limpieza de equipos y áreas de trabajo, con sus respectivos parámetros asociados al medio abiótico y humano.

4.2.1 Medio abiótico

Agua

El agua es un recurso natural vital que permite mantener el bienestar de la población y desarrollar actividades sociales y económicas (Tusupbekov et al., 2022).

El agua es fundamental en varias etapas del proceso de fabricación de los bloques. Es uno de los componentes necesarios en la dosificación para la mezcla de los bloques, así como en el moldeado y curado del producto. Debido a que la CBCA es un material con un alto porcentaje de absorción, la cantidad de agua que se requiere para la mezcla es mayor en comparación a una dosificación tradicional, con una relación a/c de 0.60 aproximadamente.

Por otro lado, se utiliza este recurso para la limpieza de los equipos y áreas de trabajo, generando aguas residuales con restos de mezcla que terminan en el sistema de drenaje pluvial.

Aire

Según el ensayo de granulometría realizado a la ceniza de bagazo de caña de azúcar, aproximadamente el 50% del material analizado pasó por el tamiz 200, que tiene aberturas de 75 micrómetros. Este resultado indica que el material contiene una proporción significativa de partículas finas. El ensayo SEM evidenció la presencia de estas partículas, visualizándose material con un tamaño de 50, 100 y 200 micrómetros, que plantea la posibilidad de contaminación del aire debido a la emisión de material particulado.

Suelo

Tanto para la etapa de pruebas de dosificaciones para la mezcla, y para el moldeo del bloque y testeo, ambas con sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión, se producen residuos sólidos. Este material es considerado un desecho que generalmente es depositado en escombreras o vertederos ilegales. La descomposición de estos residuos que contienen cemento puede generar afectaciones en el suelo como alteraciones en el pH debido a la liberación de partículas de cal. Por otro lado, si se considera una producción industrial, la cantidad de escombros se incrementaría, causando su acumulación y la posible reducción de la capacidad del suelo para absorber agua.

4.2.2 Medio humano

Social

Se propone un proceso de fabricación artesanal utilizando moldes de madera o metal, y una compactación del material por vibrado. Esta iniciativa fomenta la producción local y genera la oportunidad de empleo para la comunidad local, que impacta de manera positiva en las condiciones socioeconómicas de la población. Por otro lado, al promover la manufactura tradicional, se transmiten conocimientos técnicos ancestrales y se genera un mayor sentido de identidad entre los habitantes.

Económico

Se debe evaluar la viabilidad económica de la fabricación de bloques para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Es necesario analizar los costos directos e indirectos asociados con la adquisición de los materiales y la producción de los bloques.

Además, se debe examinar el impacto económico del proceso de fabricación de bloques en la comunidad. Debido al potencial laboral del proyecto, se podría impulsar la economía local y mejorar las condiciones de vida de los miembros de la comunidad.

4.3 Actividades del proyecto

El proceso de fabricación de bloques CBCA se identificaron 3 fases principales: Fase de Pre-uso, que describe las actividades para la fabricación y caracterización de los materiales; Fase de Uso y Operación, implica el testeo del bloque para evaluar su funcionalidad en base a la norma vigente, y la Fase de Fin de vida y Abandono, que abarca las acciones para el manejo adecuado de los desechos y residuos del producto

Tabla 4.1 Actividades de las fases del proyecto (Aguirre & Zurita, 2023)

Fase	Labor	Acción
Pre-uso	Selección de materiales	Identificación proveedores
		Caracterización los materiales
	Preparación de la mezcla	Dosificación de las proporciones de los materiales
		Evaluación las resistencias de las dosificaciones
	Moldeo del Bloque	Preparación del molde y lubricado
		Dosificación de los materiales para el bloque
		Desmolde y registro
	Curado	Humedecer durante el proceso de curado
Limpieza	Disposición de equipos y área de trabajo	
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales	
Uso y Operación	Evaluación de propiedades físico-mecánicas	Determinación de la resistencia a la compresión
		Determinación de absorción y densidad
		Valoración de las dimensiones mínimas y geometrías tolerables
	Limpieza	Disposición de equipos y área de trabajo
		Generación de residuos sólidos y aguas residuales
Fin de vida y Abandono	Identificación de residuos de mezcla	Categorización del residuo para su reutilización y tratamiento
		Determinación de prácticas de limpieza y almacenamiento
	Distribución de residuos	Determinación de la eliminación, reciclaje o reúso
	Evaluación del estado del bloque	Análisis del estado del bloque y funcionalidad
		Establecer área de reúso
		Reciclaje o desecho

4.4 Identificación de impactos ambientales

Se utilizó un diagrama de red para identificar el impacto ambiental directo e indirecto de las acciones descritas en la tabla 2.12, haciendo énfasis en los materiales que intervienen en el proceso de fabricación de los bloques y la posterior limpieza de los equipos y áreas de trabajo, que es la etapa donde se encontraron mayor cantidad de efectos.

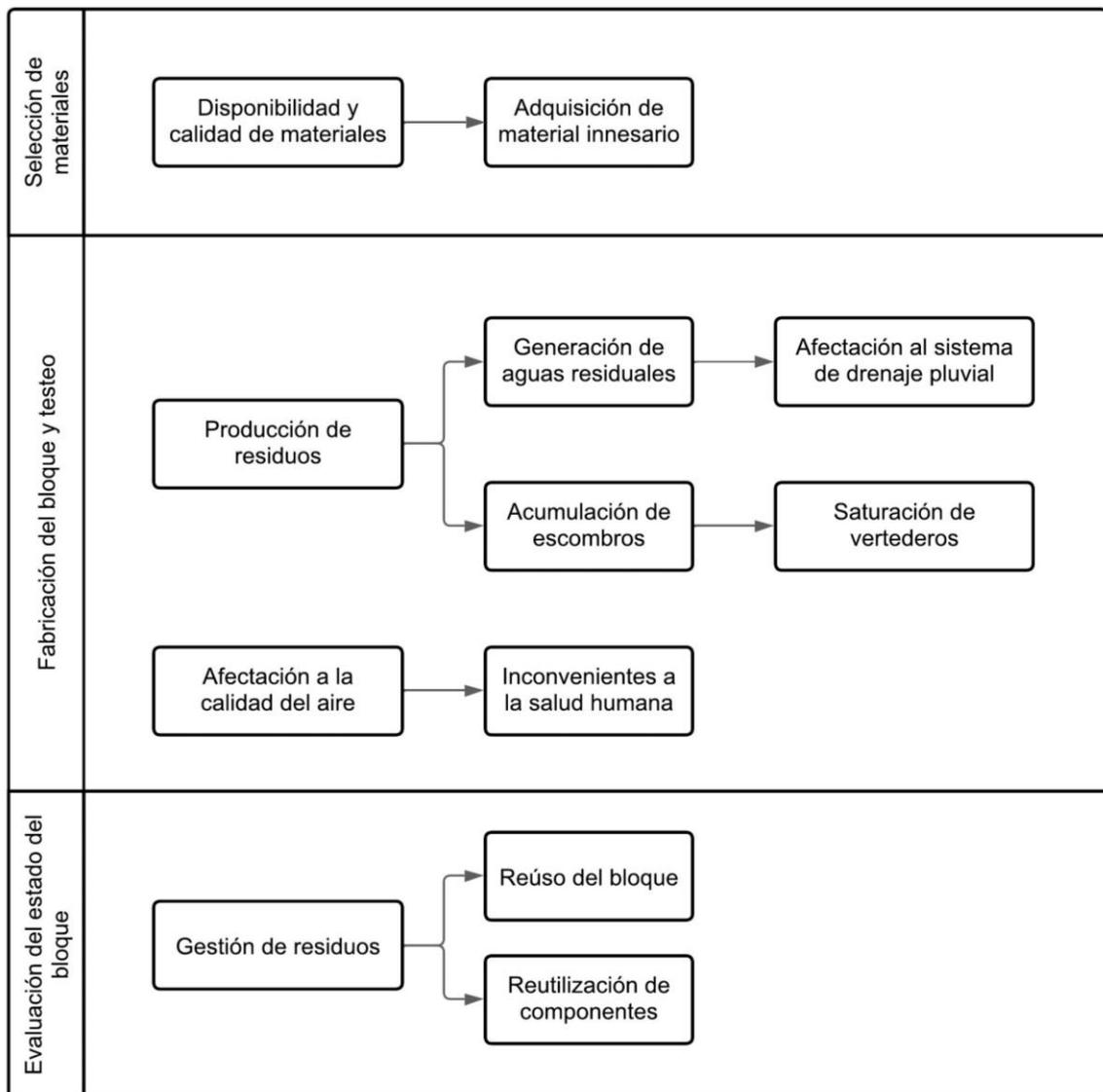


Figura 4.1 Diagrama de red (Aguirre & Zurita, 2023)

4.5 Valoración de impactos ambientales

Para la valoración de los impactos ambientales se empleó un método cualitativo mediante la matriz de Leopold que utiliza la fórmula y escala de valoración cualitativa según Tito (2020), con los criterios de extensión, duración y reversibilidad para evaluar el impacto con cinco ponderaciones de acuerdo con el nivel de afectación.

Tabla 4.2 Criterios de evaluación y calificación (Aguirre & Zurita, 2023)

Criterio				Calificación
Extensión	Duración	Reversibilidad	Magnitud	
Puntual	Esporádica	Completamente reversible	Poca incidencia	1
Particular	Temporal	Medianamente reversible		2.5
Local	Periódica	Parcialmente irreversible	Mediana incidencia	5
Generalizada	Recurrente	Medianamente irreversible	Alta incidencia	7.5
Regional	Permanente	Completamente irreversible		10

Las ponderaciones correspondientes a cada parámetro se detallan en la tabla conjunta, dándole mayor importancia a la reversibilidad del impacto.

Tabla 4.3 Criterios de evaluación y calificación (Aguirre & Zurita, 2023)

Parámetro	Peso
Extensión	30%
Duración	30%
Reversibilidad	40%
Total	100%

A continuación, se detallan las ponderaciones asignadas a las actividades identificadas, en relación con los factores ambientales del medio abiótico y humano.

**Tabla 4.4 Matriz de valoración según extensión, duración y reversibilidad
(Aguirre & Zurita, 2023)**

Factores ambientales		Abiótico				Humano	
		Consumo de agua	Generación de aguas residuales	Emisión de material particulado	Generación de residuos sólidos	Condiciones socioeconómicas	Viabilidad
Acciones	Identificación proveedores						
	Caracterización los materiales						
	Dosificación de las proporciones de los materiales			1 2.5 10	2.5 2.5 10		
	Evaluación las resistencias de las dosificaciones				2.5 2.5 10		
	Preparación del molde y lubricado						
	Desmolde y registro						
	Humedecer durante el proceso de curado	1 2.5 1					
	Disposición de equipos y área de trabajo	2.5 2.5 1	2.5 10 10				
			2.5 10		2.5 10		

	Generación de residuos sólidos y aguas residuales		10		10		
Uso y Operación	Determinación de la resistencia a la compresión				1 10 10		
	Determinación de absorción y densidad						
	Valoración de las dimensiones mínimas y geometrías tolerables						
	Disposición de equipos y área de trabajo	2.5 2.5 1	2.5 10 10				
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales		2.5 10 10		2.5 10 10		
Fin de vida y Abandono	Categorización del residuo para su reutilización y tratamiento						
	Determinación de prácticas de limpieza y almacenamiento						
	Determinación de la eliminación, reciclaje o reúso					2.5 10 5	2.5 5 5
	Análisis del estado del bloque y funcionalidad				2.5 10 10		
	Establecer área de reúso						2.5 5 5
	Reciclaje o desecho						2.5 5 5

Tabla 4.6 Matriz de valoración de magnitudes (Aguirre & Zurita, 2023)

Factores ambientales		Abiótico				Humano	
		Consumo de agua	Generación de aguas residuales	Emisión de material particulado	Generación de residuos sólidos	Condiciones socioeconómicas	Viabilidad
Acciones							
Pre-uso	Identificación proveedores						
	Caracterización los materiales						
	Dosificación de las proporciones de los materiales			-5	-5		
	Evaluación las resistencias de las dosificaciones				-5		
	Preparación del molde y lubricado						
	Desmolde y registro						
	Humedecer durante el proceso de curado	-2.5					
	Disposición de equipos y área de trabajo	-5	-7.5				
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales		-7.5		-5		

Uso y Operación	Determinación de la resistencia a la compresión				-5		
	Determinación de absorción y densidad						
	Valoración de las dimensiones mínimas y geometrías tolerables						
	Disposición de equipos y área de trabajo	-5	-7.5				
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales		-7.5		-5		
Fin de vida y Abandono	Categorización del residuo para su reutilización y tratamiento						
	Determinación de prácticas de limpieza y almacenamiento						
	Determinación de la eliminación, reciclaje o reúso					7.5	5
	Análisis del estado del bloque y funcionalidad				-5		
	Establecer área de reúso						5
	Reciclaje o desecho						7.5

Tabla 4.7 Matriz de impacto ambiental (Aguirre & Zurita, 2023)

Factores ambientales		Abiótico				Humano	
		Consumo de agua	Generación de aguas residuales	Emisión de material particulado	Generación de residuos sólidos	Condiciones socioeconómicas	Viabilidad
Pre-uso	Acciones						
	Identificación proveedores	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Caracterización los materiales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Dosificación de las proporciones de los materiales	0.0	0.0	-5.0	-5.2	0.0	0.0
	Evaluación las resistencias de las dosificaciones	0.0	0.0	0.0	-5.2	0.0	0.0
	Preparación del molde y lubricado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Desmolde y registro	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Humedecer durante el proceso de curado	-1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Disposición de equipos y área de trabajo	-3.1	-7.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Generación de residuos sólidos y aguas residuales	0.0	-7.6	0.0	-6.2	0.0	0.0	

Uso y Operación	Determinación de la resistencia a la compresión	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	0.0
	Determinación de absorción y densidad	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Valoración de las dimensiones mínimas y geometrías tolerables	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Disposición de equipos y área de trabajo	-3.1	-7.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales	0.0	-7.6	0.0	-6.2	0.0	0.0
Fin de vida y Abandono	Categorización del residuo para su reutilización y tratamiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Determinación de prácticas de limpieza y almacenamiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Determinación de la eliminación, reciclaje o reúso	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	4.6
	Análisis del estado del bloque y funcionalidad	0.0	0.0	0.0	-6.2	0.0	0.0
	Establecer área de reúso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
	Reciclaje o desecho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6

Las actividades que conllevan un mayor impacto negativo se producen en la labor de limpieza, que incluyen la generación de aguas residuales y residuos sólidos provenientes del aseo de los equipos e instrumentos utilizados tanto en las pruebas de dosificaciones previas como en la preparación de la mezcla y el moldeo del bloque. Por otro lado, las actividades que causan un impacto positivo refiriéndose al ámbito socioeconómico son determinar si luego de cumplir su función como mampuesto, el bloque se podría reciclar o reusar, y establecer las áreas potenciales para aprovechar el material residual.

4.6 Medidas de prevención/mitigación

De acuerdo con las acciones mencionadas en la Tabla 2.12 se presentan las medidas preventivas y correctoras para cada fase del proyecto, incorporando criterios de optimización, control de calidad y procesos de reutilización y reducción de recursos y residuos.

Tabla 4.8 Medidas de mitigación de las fases del proyecto (Aguirre & Zurita, 2023)

Fase	Acción	Plan de Gestión Ambiental
Pre-uso	Identificación proveedores	Búsqueda de proveedores locales con prácticas ambiental y socialmente responsables para la reducción de la huella de carbono y extracción de materiales
	Caracterización los materiales	Proveedores con procesos de calidad rigurosos y mínimos índices de desviación estándar para reducir la cantidad de ensayos de calidad del material
	Dosificación de las proporciones de los materiales	Criterios y técnicas de diseño experimental para optimizar dosificaciones y buenas prácticas de ensayo para la reducción de índices de desviación estándar y datos descartables
	Evaluación las resistencias de las dosificaciones	
	Preparación del molde y lubricado	Reutilización de aceites vegetales y biodegradables para lubricar los moldes

	Dosificación de los materiales para el bloque	Humedecer áreas cercanas para prevenir el levantamiento de partículas
	Desmolde y registro	Manejo adecuado de material residual generado en el moldeo del bloque
	Humedecer durante el proceso de curado	Aprovechamiento de fuentes de agua alternativas sin comprometer a los aspectos técnicos
	Disposición de equipos y área de trabajo	Limpieza previa en seco de los residuos y luego agua a presión
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales	
Uso y Operación	Determinación de la resistencia a la compresión	Garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes de los ensayos realizados a los bloques mediante la calidad de sus materiales Monitoreo constante de las características técnicas para una mayor calidad del bloque que maximice su ciclo de vida
	Determinación de absorción y densidad	
	Valoración de las dimensiones mínimas y geometrías tolerables	
	Disposición de equipos y área de trabajo	Limpieza previa en seco de los residuos y luego agua a presión Reducción de la cantidad de residuos aprovechando las bondades de las técnicas de diseño experimental
	Generación de residuos sólidos y aguas residuales	
Fin de vida y Abandono	Categorización del residuo para su reutilización y tratamiento	Recolección de residuos para destinarlos a reutilización de acuerdo con su naturales y composición
	Determinación de prácticas de limpieza y almacenamiento	Prácticas de limpieza en seco para eliminar restos adheridos

Determinación de la eliminación, reciclaje o reúso	Incorporación de procesos de trituración adicionales para su empleo en dosificaciones sostenibles
Análisis del estado del bloque y funcionalidad	Inspección y muestreo representativo para reducir la cantidad de ensayos que evalúen el estado del bloque
Establecer área de reúso	Identificación de potenciales áreas de reúso para el aprovechamiento del material residual
Reciclaje o desecho	

4.7 Conclusiones

- La fabricación de bloques implementando ceniza de bagazo de caña de azúcar crea la oportunidad de reutilizar un residuo y generar un impacto positivo para el medio ambiente, mediante un material de construcción sostenible que se utiliza como mampostería no estructural. A su vez, se contribuye al desarrollo de ciudades sostenibles que buscan disminuir las afectaciones de la industria de la construcción, con procesos de edificación sostenibles. Sin embargo, se presentan impactos negativos al medio ambiente con respecto a la etapa de fabricación de los bloques, enfocándose en la generación de residuos que se depositan en vertederos y aguas residuales que llegan hasta el sistema de drenaje de pluvial.
- Es posible mitigar este impacto con precauciones y técnicas de limpieza que minimicen los residuos, como una limpieza inicial en seco de los equipos e instrumentos antes de utilizar agua, para remover pequeños escombros y evitar que terminen en las aguas residuales. Adicionalmente, se puede recolectar residuos de mayor tamaño y asegurarse que sean depositados en vertederos legales, y estudiar la posibilidad de reutilizarlos en futuros proyectos de construcción.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Se utilizó el metrado de muros que se obtuvo del modelado de la vivienda de una planta en la sección de aplicación en proyectos residenciales, como referencia para comparar los costos de producción de bloques elaborados en una bloquera local y los bloques con CBCA. La vivienda presentó un área de 143 m² en muros y se requieren 1748 bloques para construir las paredes de mampostería. Sin embargo, considerando las propiedades mecánicas de los bloques CBCA, se consideró emplearlos en paredes exteriores, que requieren un material más resistente debido a que están expuestas al viento, lluvia y demás.

5.1 Costo Bloques CBCA

Los materiales que se emplearon para la elaboración de bloques con CBCA se presentan en la Tabla 5.1, con su respectivo precio referencial de acuerdo con establecimientos locales que se dedican a la venta de materiales de construcción. Los precios incluyen IVA, pero no consideran el transporte.

Tabla 5.1 Precios de materiales (Aguirre & Zurita, 2023)

Material	Descripción	Precio referencial
Cemento	Saco 50 kg	\$8.30
Arena	Saco 45 kg	\$1.25
Ceniza	-	-

La cantidad efectiva de arena que se utilizó por cada saco fue de 30 kg, debido a que se tamizó el material para separar el agregado grueso.

Según la Tabla 3.28, se establece que para cada saco de 50 kg de cemento, se requieren 173 kg de arena tamizada (equivalente a 6 sacos) y 30.5 kg de ceniza. Utilizando estas proporciones es posible fabricar 25 bloques aproximadamente, con una inversión de \$15.80 considerando solo el costo de los materiales.

La distribución de paredes de la vivienda referencial se presenta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Distribución de paredes (Aguirre & Zurita, 2023)

Tipo	Área m ²	N° de Bloques
Interior	62	747
Exterior	81	1001

En paredes externas se requieren 1001 bloques CBCA, que corresponde a un costo de fabricación aproximado de \$632, considerando solo el precio de los materiales como se especifica en la Tabla 5.1. Para paredes divisorias interiores se pueden utilizar bloques comerciales, que presentaron menor resistencia.

5.2 Costo Bloques comerciales

Se consultó el precio de bloques comerciales con dimensiones similares al bloque CBCA a negocios locales. Se tiene la referencia del bloque tipo Victoria y bloques de piedra pómez con dimensiones de 40x20x9 cm, que se presenta en la Tabla 5.3. Adicionalmente, se detalla el precio total en relación con los 1748 bloques requeridos.

Tabla 5.3 Precio Bloques comerciales (Aguirre & Zurita, 2023)

Tipo	Precio referencial por unidad	Precio total
Victoria	\$0.40	\$699.20
Piedra Pómez	\$0.32	\$559.36

En este sentido, al considerar una cantidad de 1748 bloques se estima una inversión aproximada de \$700 si se emplean bloques Victoria, mientras que con bloques de piedra pómez el precio es de \$560.

5.3 Costos iniciales

Tabla 5.4 Costos iniciales (Aguirre & Zurita, 2023)

Caso	Descripción	Precio	Precio total
1	Bloque CBCA en exteriores	\$632	\$932
	Bloque Victoria en interiores	\$300	
2	Bloque Victoria en toda el área	\$700	\$700

3	Bloque Pómez en toda el área	\$560	\$560
---	------------------------------	-------	-------

La Tabla 5.4 presenta los costos iniciales según el tipo de bloque que se utilice en las paredes de mampostería.

5.4 Beneficio a largo plazo

Los bloques con CBCA presentan mayor resistencia a la compresión que los bloques comerciales, son capaces de soportar cargas y fuerzas mayores.

Confort térmico y acústico debido a su densidad tienen mejor comportamiento para atenuar el sonido y permiten regular la temperatura interior de la vivienda.

Mayor durabilidad ya que la CBCA mejora la microestructura del bloque.

Presentan menor permeabilidad debido a que la ceniza produce un efecto de relleno en los espacios de vacío.

5.5 Costos operativos

No se estiman gastos adicionales significativos en comparación con los bloques comerciales.

5.6 Cálculo Costo – Beneficio

Inversión total: \$932

Beneficio neto: Beneficios cualitativos

Valor actual neto (VAN): Beneficios cualitativos - \$932

5.7 Análisis

En comparación con los bloques comerciales, el uso de bloques CBCA implica un incremento aproximado del 30% de los costos. El costo de fabricación del bloque control es de \$0.71, mientras que el bloque propuesto es de \$0.62, esto se debe a la reducción de la cantidad de arena que se emplea. El bloque CBCA presenta varios beneficios cualitativos que deben considerarse en proyectos residenciales. Especialmente, en el ámbito de las urbanizaciones, donde se prioriza el bienestar del cliente y en un contexto de creciente oferta y demanda de viviendas, se le ofrecería un beneficio extra al consumidor. Además, se posibilita la mitigación de inconvenientes de post venta al disminuir las probabilidades de reclamo.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Mediante la evaluación de los ensayos de resistencia a la compresión aplicados en morteros con distintas proporciones de reemplazo, se identificó la dosificación que permitió la sustitución más significativa de arena por CBCA, y que cumpla con el requisito mínimo de resistencia a la compresión establecido en la NTE INEN 3066. Esta configuración óptima corresponde a la dosificación con un reemplazo del 15%, con un diseño SSS que se ajustó debido a la capacidad de vibrado y compactación de la máquina bloquera, resultando en las siguientes proporciones por m³: 417 kg de cemento, 250.2 kg de ceniza, 1417.8 kg de arena y 219.6 kg de agua. Asimismo, por cada saco de 50 kg de cemento es posible una producción estimada de 25 bloques, empleando las siguientes cantidades de material: 30.5 kg de ceniza, 173 kg de arena y 26 kg de agua.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en morteros con reemplazos parciales de 5%, 10% y 15% presentaron valores que cumplieron con el requerimiento mínimo de 4 MPa en promedio de tres bloques, según lo establecido en la norma ecuatoriana vigente. Estos valores fueron de 8.2 MPa, 6.6 MPa y 4.6 MPa, respectivamente para los 7 días. Mientras que a los 28 días se presentaron aumentos significativos, de 12.6 MPa, 11.0 MPa y 8.3 MPa, respectivamente. La dosificación seleccionada con una sustitución de arena del 15% ajustada, tuvo una resistencia a la compresión de 6.1 MPa y 8.5 MPa, a los 7 y 28 días, respectivamente. Lo que sugiere una mejor interacción de CBCA con los demás compuestos a lo largo del tiempo. Sin embargo, la resistencia a la compresión disminuyó mientras se incrementó la proporción de CBCA. Esto se debe a la intención de emplear el material de reemplazo en su totalidad para no generar desperdicio, evitando procesos adicionales de molienda y calcinación.

Al aplicar la dosificación elegida a los bloques, se obtuvieron los siguientes resultados en los ensayos físico – mecánicos:

- Las dimensiones se mantuvieron dentro de las tolerancias establecidas para los parámetros de longitud, altura y anchura, y espesor del tabique.
- La absorción y la densidad del bloque CBCA fue de 235 kg/m³ y 1859 kg/m³, respectivamente.
- La resistencia a la compresión a los 7 días fue 6.3 MPa, mientras que a los 14 días fue 8.1 MPa, valores superiores al mínimo establecido.

El bloque propuesto genera la oportunidad de reutilizar un residuo, siendo un aspecto ecológicamente positivo, debido a que en el contexto actual es necesaria la implementación de procesos de edificación sostenible con nuevos materiales que reduzcan el impacto negativo de la industria de la construcción al medio ambiente. Esto promueve el desarrollo de ciudades sostenibles con una propuesta que incluye la reutilización de desechos.

La implementación de esta mezcla para bloques conlleva a un incremento de los costos de una pared de mampostería, en comparación con los bloques comerciales. El bloque patrón que utiliza cemento, arena y agua como compuestos, tiene un costo de producción de \$0.71, mientras que el bloque con 15% de reemplazo cuesta \$0.62 debido a la reducción de la cantidad de arena que se utiliza en la dosificación. A pesar de que los costos del bloque CBCA son mayores en comparación a los bloques comerciales, presenta varios beneficios cualitativos que se deben considerar en proyectos residenciales. Los bloques propuestos presentan mayor densidad debido a que la ceniza produce un efecto de relleno de los espacios de vacío que implica un aumento de la resistencia a la compresión. Por consiguiente, se tiene un mejor comportamiento con respecto a la durabilidad del material, ya que se mejora la microestructura del bloque. Además, brinda confort térmico y acústico, y previene filtraciones debido a su característica de menor absorción.

Recomendaciones

Se sugiere someter la ceniza de bagazo de caña de azúcar a procesos de molienda para reducir el tamaño de partícula y aumentar la superficie de contacto, así como a un periodo de calcinación bajo un control de tiempo y temperatura. Esto contribuye en la interacción química del material con el aglutinante. De esta manera, se propone estudiar el comportamiento físico – mecánico del mortero con reemplazos parciales de agregado por CBCA, y analizar la posibilidad de mejora en términos de resistencia a la compresión y durabilidad.

Se recomienda incorporar agregado grueso como compuesto en la dosificación de los bloques, evaluando un reemplazo parcial óptimo de cemento o arena que cumpla con el estándar requerido en la norma NTE INEN 3066. Además, el agregado grueso como la piedra pómez, es capaz de aportar ligereza a los bloques CBCA, ya que los actuales presentaron una densidad mayor a la que se especifica en la NEC.

Se aconseja continuar con la optimización de la mezcla para bloques CBCA para disminuir la cantidad de cemento y obtener resistencias a la compresión similares a los bloques comerciales, con la finalidad de que el costo de fabricación sea más competitivo.

Finalmente, se sugiere realizar un ensayo de adherencia de mortero para evaluar la calidad de las juntas y prevenir problemas de durabilidad y seguridad que comprometan la funcionalidad del conjunto de mampuestos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abushanab, A., Alnahhal, W., Sohail, M. G., Alnuaimi, N., Kahraman, R., & Altayeh, N. (2021). Mechanical and durability properties of ultra-high performance steel FRC made with discarded materials. *Journal of Building Engineering*, *44*, 103264. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103264>
- Aigbomian, E. P., & Fan, M. (2013). Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper. *Construction and Building Materials*, *40*, 361–366. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.11.018>
- Alyami, M., Hakeem, I. Y., Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2023). Effect of agricultural olive, rice husk and sugarcane leaf waste ashes on sustainable ultra-high-performance concrete. *Journal of Building Engineering*, *72*, 106689. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106689>
- Anusha, G., & Dineshkumar, R. (2022). Study on paver blocks using waste plastics and sugarcane bagasse ash. *Materials Today: Proceedings*, *68*, 2088–2092. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.08.367>
- Arbeláez Pérez, O. F., Delgado Varela, K. A., & Castañeda Mena, J. D. (2022). Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2022.08.001>
- ASTM-C311. (2007). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete (C311)*. <https://www.astm.org/>
- Bakhoun, E. S., Amir, A., Osama, F., & Adel, M. (2023). Prediction model for the compressive strength of green concrete using cement kiln dust and fly ash. *Scientific Reports* *2023 13:1*, *13*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28868-7>
- Barontini, A., Scacco, J., da Silva, L. C. M., Vasconcelos, G., Lourenço, P. B., & Milani, G. (2023). Experimental quasi-static out-of-plane test of a U-shaped brick

- masonry wall. *Engineering Structures*, 287, 116195.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2023.116195>
- Bheel, N., Khoso, S., Baloch, M. H., Benjeddou, O., & Alwetaishi, M. (2022). Use of waste recycling coal bottom ash and sugarcane bagasse ash as cement and sand replacement material to produce sustainable concrete. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52399–52411. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19478-3>
- Bhoi, A. K., Juneja, A., & Mandal, J. N. (2023). Sugar factory ash as retaining wall backfill: A techno-economic trial. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135763. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135763>
- Dewagoda, K. G., Ng, S. T., & Chen, J. (2022). Driving systematic circular economy implementation in the construction industry: A construction value chain perspective. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135197. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135197>
- Ebolor, A., Agarwal, N., & Brem, A. (2022). Sustainable development in the construction industry: The role of frugal innovation. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134922. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134922>
- França, S., Sousa, L. N., Saraiva, S. L. C., Ferreira, M. C. N. F., Silva, M. V. de M. S., Gomes, R. C., Rodrigues, C. de S., Aguilar, M. T. P., & Bezerra, A. C. da S. (2023a). Feasibility of Using Sugar Cane Bagasse Ash in Partial Replacement of Portland Cement Clinker. *Buildings* 2023, Vol. 13, Page 843, 13(4), 843. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13040843>
- França, S., Sousa, L. N., Saraiva, S. L. C., Ferreira, M. C. N. F., Silva, M. V. de M. S., Gomes, R. C., Rodrigues, C. de S., Aguilar, M. T. P., & Bezerra, A. C. da S. (2023b). Feasibility of Using Sugar Cane Bagasse Ash in Partial Replacement of Portland Cement Clinker. *Buildings*, 13(4), 843. <https://doi.org/10.3390/buildings13040843>
- Gencil, O., Nodehi, M., Yavuz Bayraktar, O., Kaplan, G., Benli, A., Koksall, F., Bilir, T., Siddique, R., & Ozbakkaloglu, T. (2022). The use of waste marble for cleaner production of structural concrete: A comprehensive experimental study. *Construction and Building Materials*, 361, 129612. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.129612>

- Hemkemeier, T. A., Almeida, F. C. R., Sales, A., & Klemm, A. J. (2023). Repair mortars with water treatment plant sludge (WTPS) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) for more eco-efficient and durable constructions. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135750. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135750>
- Huang, P., Huang, B., Li, J., Wu, N., & Xu, Q. (2023). Application of sugar cane bagasse ash as filler in ultra-high performance concrete. *Journal of Building Engineering*, 71, 106447. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106447>
- Inga, A. J. V., Zuñiga, J. G. B., Aburto, N. J. M., Solis, R. A. C., Tolentino, E. O. G., Espiritu, A. M. J., & Campomanes, G. P. (2023). Sustainable Blocks Reinforced with Agave americana L. Fiber and Its Mechanical Properties. *Civil Engineering and Architecture*, 11(4), 2072–2086. <https://doi.org/10.13189/CEA.2023.110428>
- Jittin, V., Minnu, S. N., & Bahurudeen, A. (2021). Potential of sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material and comparison with currently used rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 273, 121679. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121679>
- Joyklad, P., & Hussain, Q. (2023). Development of strength models for brick walls: Experimental and theoretical study. *Results in Engineering*, 18, 101103. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101103>
- Kamal, M. A. (2022). Precast Concrete Blocks in Building Construction: An Overview. *The Fundamentals of Building Materials*, 55–78.
- Karagiannis, E., Papadaki, D., Assimakopoulos, M. N., Karagiannis, E., Papadaki, D., & Assimakopoulos, M. N. (2021). Circular self-cleaning building materials and fabrics using dual doped TiO₂ nanomaterials. *AIMS Materials Science* 2022 4:534, 9(4), 534–553. <https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2022032>
- Lee, H. J., Kim, S., Mun, J. H., Choi, Y. S., & Yang, K. H. (2023). Shaking table tests of masonry wall reinforced with steel-bar truss units linked by spring dampers. *Journal of Building Engineering*, 74, 106860. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106860>
- Li, S., Mo, L., Deng, M., & Cheng, S. (2021). Mitigation on the autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete via using MgO expansive agent. *Construction and Building Materials*, 312, 125422. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125422>

- Li, Y., Zeng, X., Shi, Y., Yang, K., Zhou, J., Umar, H. A., Long, G., & Xie, Y. (2022). A comparative study on mechanical properties and environmental impact of UHPC with belite cement and portland cement. *Journal of Cleaner Production*, 380, 135003. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135003>
- Liao, J. J., Yang, K. Y., Zeng, J. J., Quach, W. M., Ye, Y. Y., & Zhang, L. (2021). Compressive behavior of FRP-confined ultra-high performance concrete (UHPC) in circular columns. *Engineering Structures*, 249, 113246. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.113246>
- Long, J., Yang, K., Wang, S., Xu, L., Yang, Z., Ye, C., Luo, J., Wu, K., & Zhang, L. (2023). New insights into the contribution of quartz powder byproduct from manufactured sand to the performance of cementitious materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(10), 4105–4117. <https://doi.org/10.1007/S10973-023-12008-4/METRICS>
- Maldonado-García, M. A., Hernández-Toledo, U. I., Montes-García, P., & Valdez-Tamez, P. L. (2018). The influence of untreated sugarcane bagasse ash on the microstructural and mechanical properties of mortars. *Materiales de Construcción*, 68(329), 148. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.13716>
- Micháľková, D., & Ďurica, P. (2022). Natural materials in building construction - annual evaluation. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38, 222–227. <https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.0222>
- Minnu, S. N., Bahurudeen, A., & Athira, G. (2021). Comparison of sugarcane bagasse ash with fly ash and slag: An approach towards industrial acceptance of sugar industry waste in cleaner production of cement. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124836>
- Mohamed, O. A., El-dek, S. I., & El-Gamal, S. M. A. (2023). Mechanical performance and thermal stability of hardened Portland cement-recycled sludge pastes containing MnFe₂O₄ nanoparticles. *Scientific Reports 2023 13:1*, 13(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29093-y>
- Nataraja, M. C., Chakravarthy H. G, N., Shivaprasad, R., & Naganna, S. R. (2023). Self-compacting concrete incorporating incinerated biomedical waste ash: a performance assessment. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S44147-023-00191-Y/FIGURES/10>

- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso.*
- NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.*
- NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.*
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para Hormigón. Requisitos.*
- NTE INEN 3066. (2016). *Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de ensayo.*
- Oinam, Y., Ju, S., Gwon, S., Shin, M., & Pyo, S. (2022). Characteristics of GGBFS-Based Pervious Concrete Considering Rheological Properties of the Binder. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S40069-022-00551-7/TABLES/4>
- Perez-Diaz, E. D., Reyes-Araiza, J. L., Millán-Malo, B. M., Londoño-Restrepo, S. M., & Rodríguez-García, M. E. (2023). Evaluation of bamboo cortex ash as supplementary cementitious material: Comparative analysis with sugarcane bagasse ash and natural pozzolan. *Journal of Building Engineering*, 66, 105846. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105846>
- Rahim, N. S. A., Ismail, S., Subramaniam, C., Abdullah Habib, S. N. H., & Durdyev, S. (2023). Building Information Modelling Strategies in Sustainable Housing Construction Projects in Malaysia. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 2313*, 15(3), 2313. <https://doi.org/10.3390/SU15032313>
- Raut, A. N., & Gomez, C. P. (2017). Performance Evaluation of Newly Developed Sustainable Blocks for Affordable Housing in Malaysia. *MATEC Web of Conferences*, 138, 01015. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201713801015>
- Raut, A., Singh, R. J., Kannan, Y. S., & Rahul. (2023). Insulation behavior of foamed based geopolymer as a thermally efficient sustainable blocks. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.03.022>
- Soliman, N. A., & Tagnit-Hamou, A. (2017). Using glass sand as an alternative for quartz sand in UHPC. *Construction and Building Materials*, 145, 243–252. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.03.187>
- Supriya, A., & Murali, K. (2023). The development of the compressive strength of pervious concrete using sugarcane bagasse ash and flyash. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.04.338>

- Tijani, M. A., Ajagbe, W. O., & Agbede, O. A. (2022). Recycling sorghum husk and palm kernel shell wastes for pervious concrete production. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134976. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134976>
- Tusupbekov, Z. A., Nadtochiy, V. S., Ryapolova, N. L., & Popova, N. B. (2022). Water resource potential of agricultural lands of Omsk region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 954(1), 012086. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012086>
- Wang, F., Sun, X., Tao, Z., & Pan, Z. (2022). Effect of silica fume on compressive strength of ultra-high-performance concrete made of calcium aluminate cement/fly ash based geopolymer. *Journal of Building Engineering*, 62, 105398. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.105398>
- Weinmaster, M. (2009). Are Green Walls as “Green” as They Look? An Introduction to the Various Technologies and Ecological Benefits of Green Walls. *Journal of Green Building*, 4(4), 3–18. <https://doi.org/10.3992/JGB.4.4.3>
- Wu, N., Ji, T., Huang, P., Fu, T., Zheng, X., & Xu, Q. (2022a). Use of sugar cane bagasse ash in ultra-high performance concrete (UHPC) as cement replacement. *Construction and Building Materials*, 317, 125881. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125881>
- Wu, N., Ji, T., Huang, P., Fu, T., Zheng, X., & Xu, Q. (2022b). Use of sugar cane bagasse ash in ultra-high performance concrete (UHPC) as cement replacement. *Construction and Building Materials*, 317, 125881. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125881>
- Xu, Q., Ji, T., Gao, S.-J., Yang, Z., & Wu, N. (2018). Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials. *Materials*, 12(1), 39. <https://doi.org/10.3390/ma12010039>
- Zaheer, M. M., & Tabish, M. (2023). The Durability of Concrete Made Up of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) as a Partial Replacement of Cement: A Review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(4), 4195–4225. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07698-9>
- Zhou, T., Liu, B., Deng, Q., Deng, M., & Zhang, S. (2023). Experimental investigation on seismic behavior of brick masonry wall strengthened with ECC splint.

Construction and Building Materials, 391(1), 131627.

<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131627>

Zhu, H., Luo, X., Ji, C., Wang, X., Wang, Y., Zhao, C., & Zhang, L. (2023).

Strengthening of clay brick masonry wall with spraying polyurea for repeated blast resistance. *Structures*, 53, 1069–1091.

<https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.05.004>

PLANOS Y ANEXOS

Anexos

Tabla 1

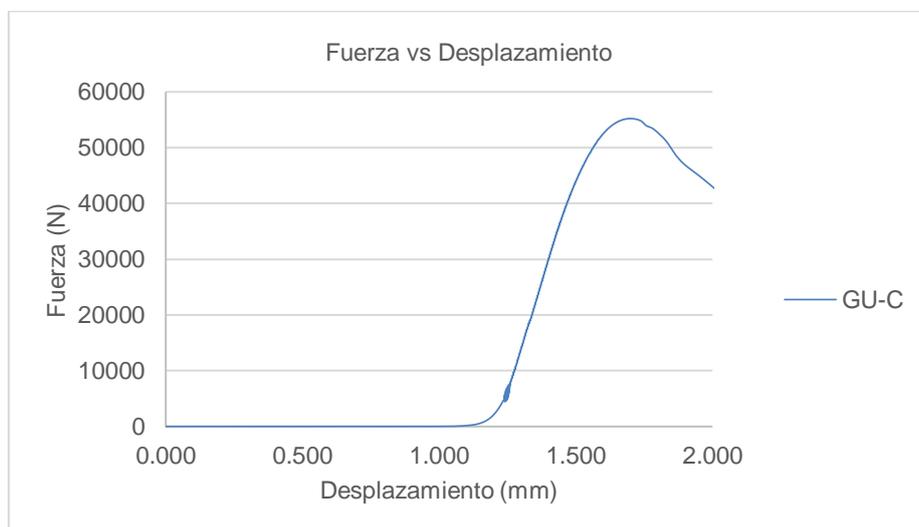
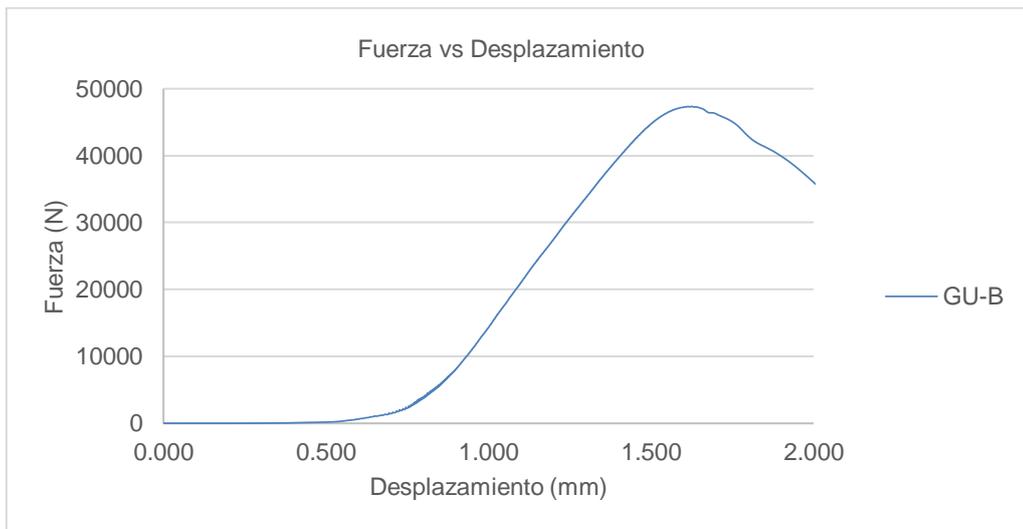
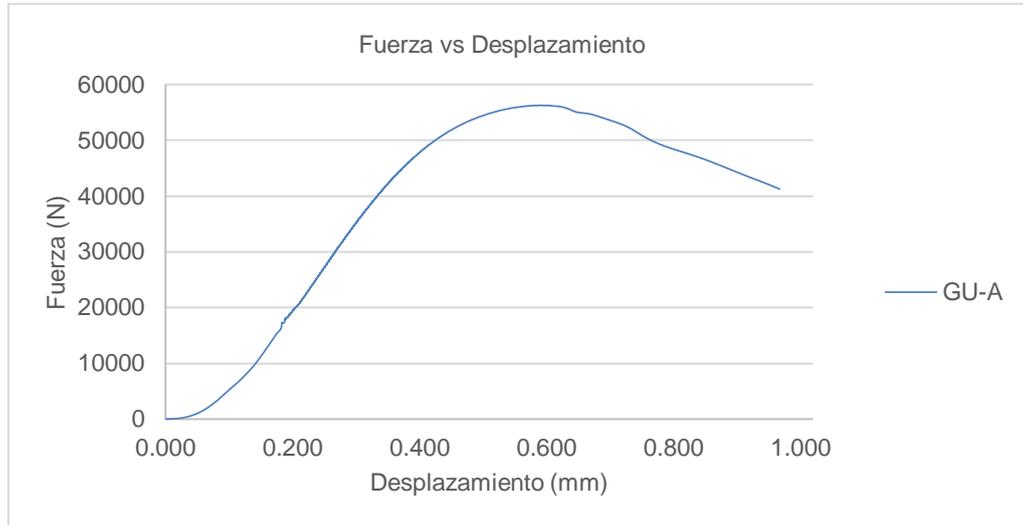
Laboratorio: Geotecnia y Construcción FICT ESPOL					
Agregado:	Ceniza de bagazo de caña de azúcar			Muestreo fecha:	
Fuente:				Ensayo fecha:	
Masa inicial (g):	607.1			Realizado por:	
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)		
4,75 mm	No. 4	7.5	1	1	99
2,36 mm	No. 8	4.5	1	2	98
1,18 mm	No. 16	13.4	2	4	96
600 µm	No. 30	38.6	6	11	89
300 µm	No. 50	52.0	9	19	81
150 µm	No. 100	93.4	15	35	65
75 µm	No. 200	125.2	21	55	45
Bandeja		271.5	45	100	0
Masa final (g):	606.1		Módulo de Finura :	0.7	
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				

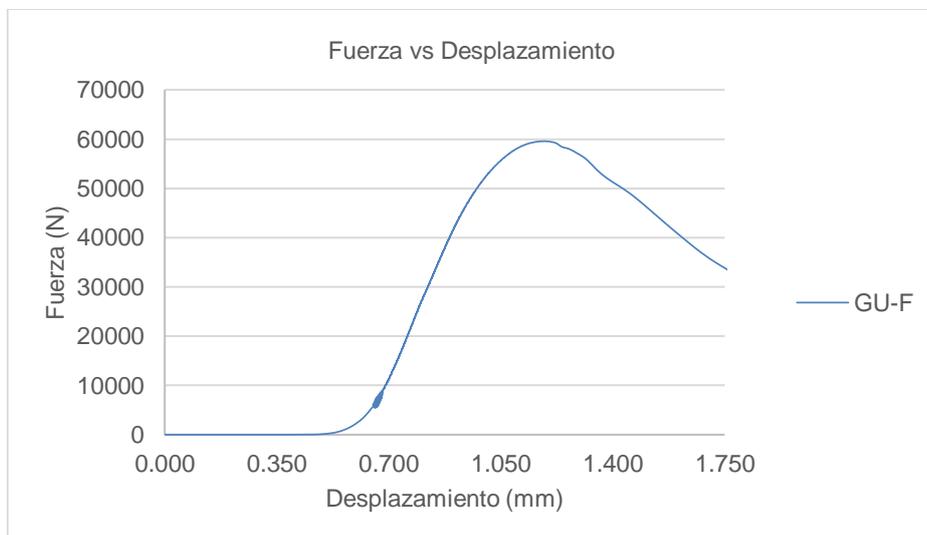
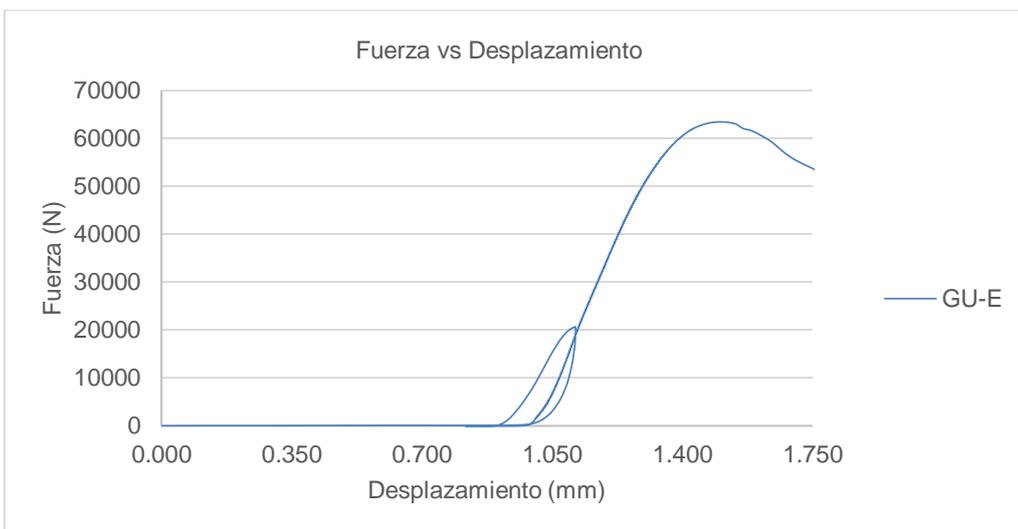
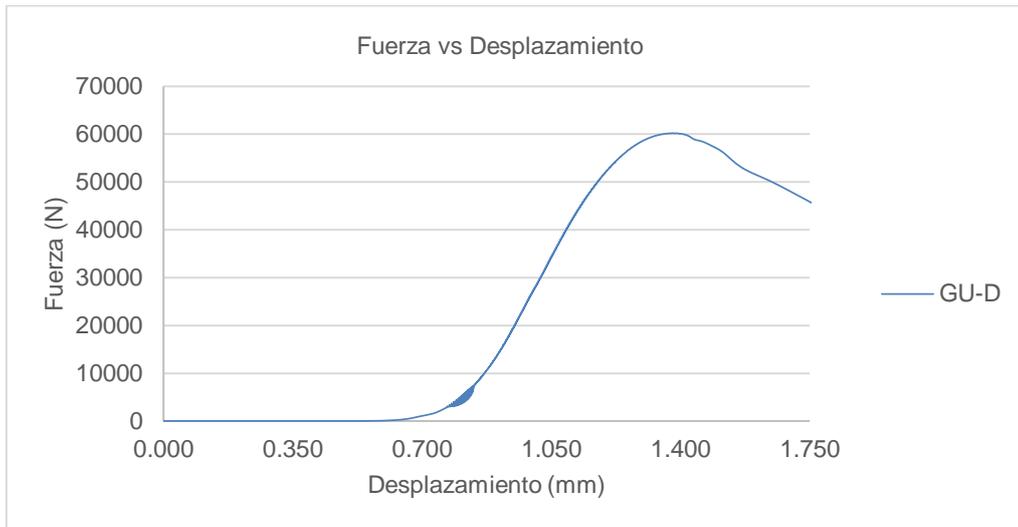
Tabla 2

Laboratorio: Geotecnia y Construcción FICT ESPOL					
Agregado:	Arena				Muestreo fecha:
Fuente:					Ensayo fecha:
Masa inicial (g):	500.95				Realizado por:
Tamiz			Retenido	Retenido	Retenido
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
4,75 mm	No. 4	0.37	0	0	100
2,36 mm	No. 8	98.91	20	20	80
1,18 mm	No. 16	95.39	19	39	61
600 µm	No. 30	90.53	18	57	43
300 µm	No. 50	118.96	24	81	19
150 µm	No. 100	77.33	15	96	4
75 µm	No. 200	15.32	3	99	1
Bandeja		3.68	1	100	0
Masa final (g):	500.49		Módulo de Finura :	2.9	
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				

Escenario 1

GU Patrón





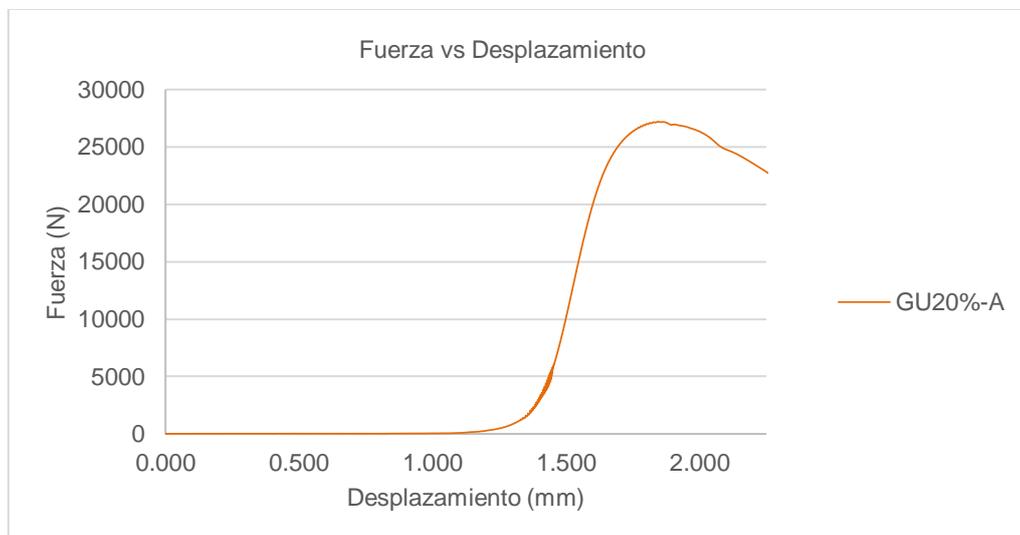
7días

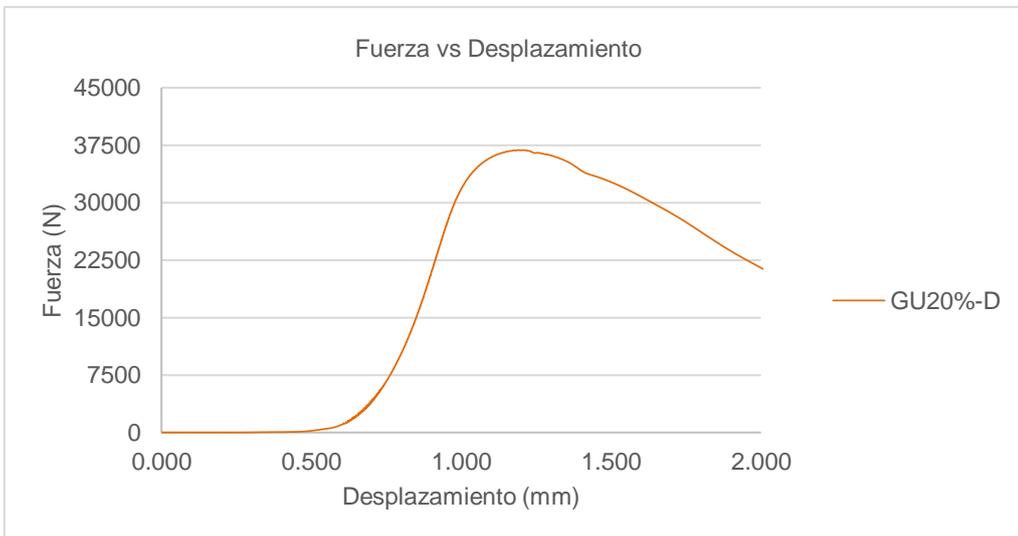
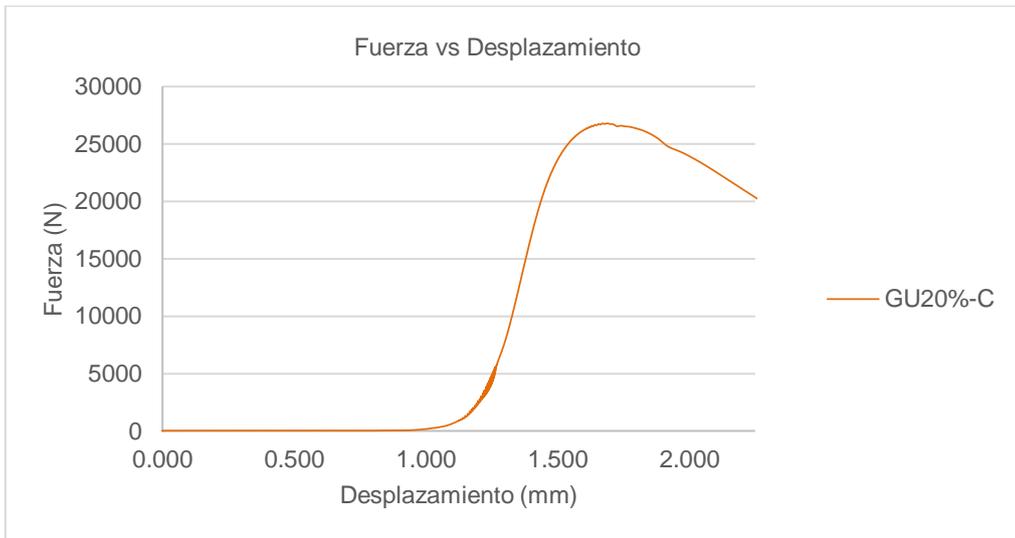
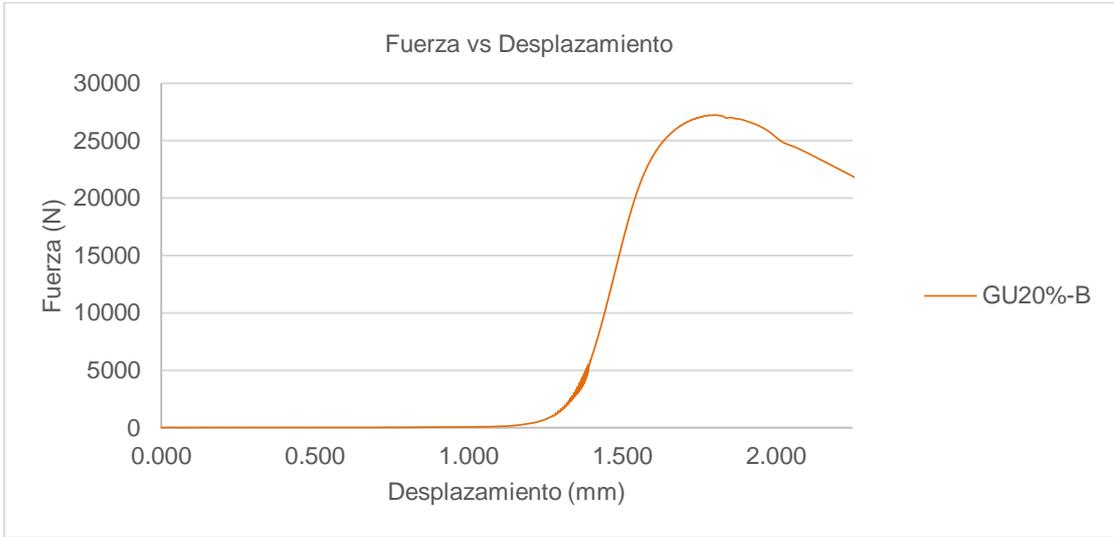
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
GU-A	56267	2572	21.9
GU-B	47355	2559	18.5
GU-C	55214	2567	21.5
Promedio			20.6

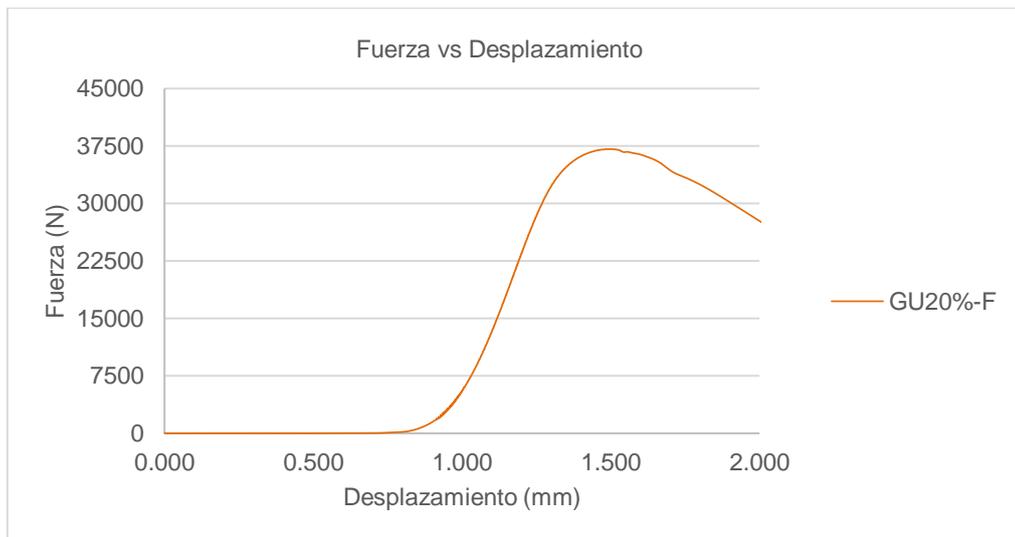
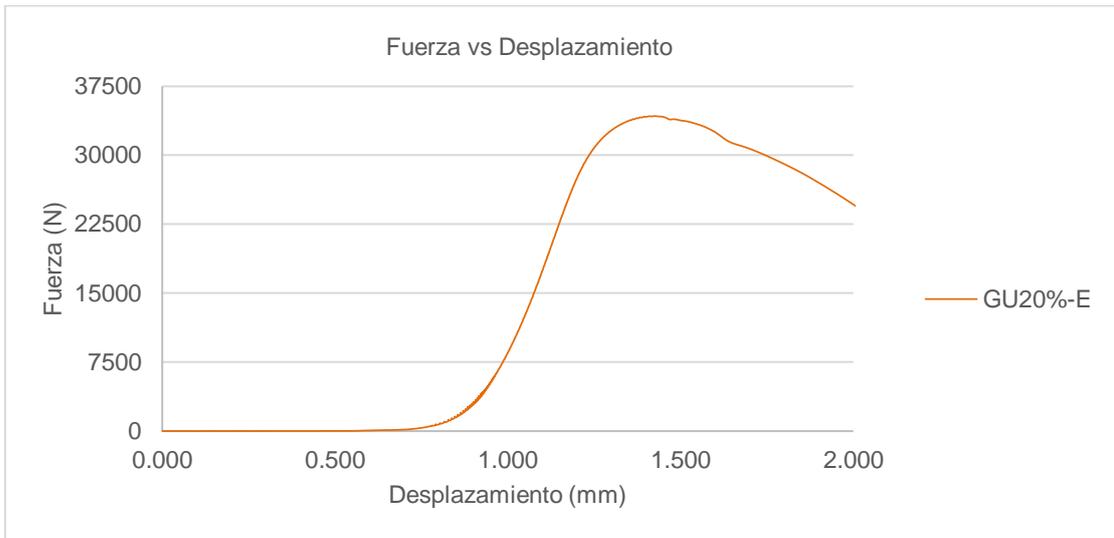
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
GU-D	60213	2604	23.1
GU-E	63481	2621	24.2
GU-F	59579	2615	22.8
Promedio			23.4

GU20%







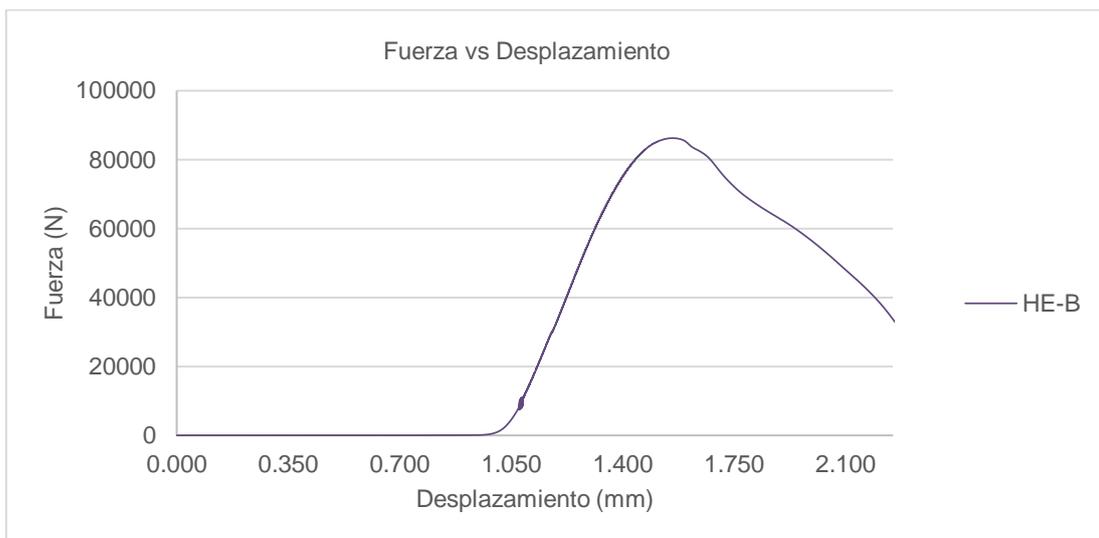
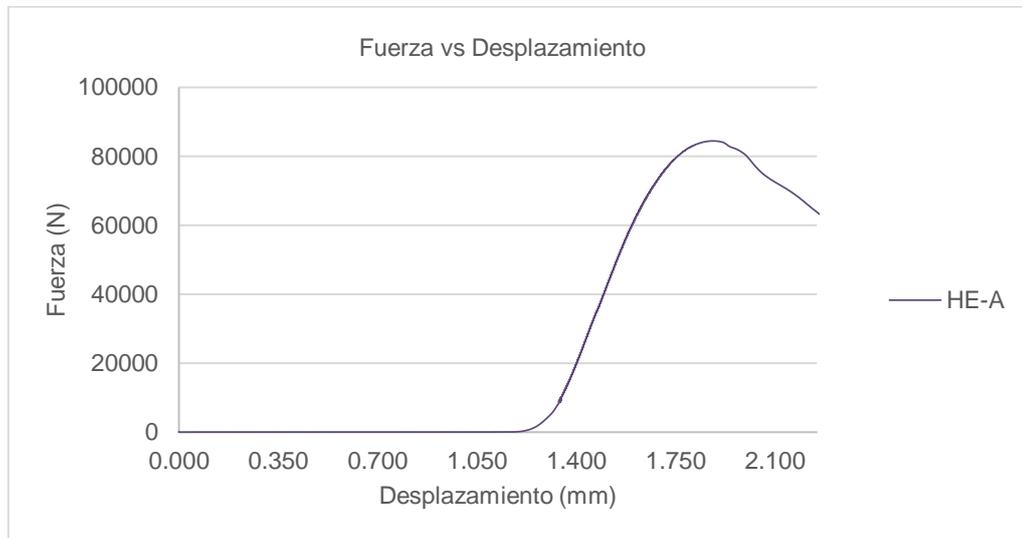
7días

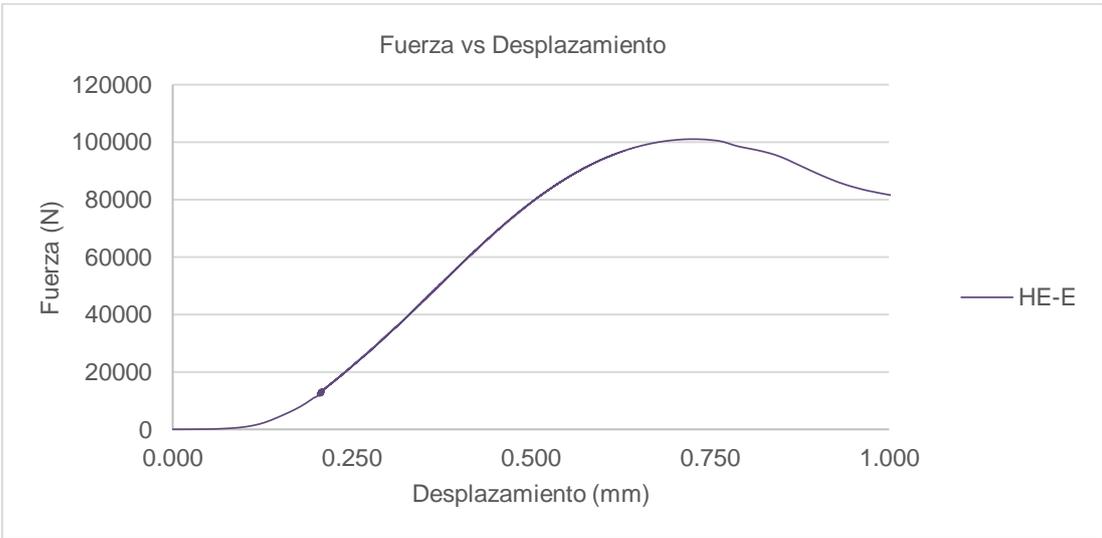
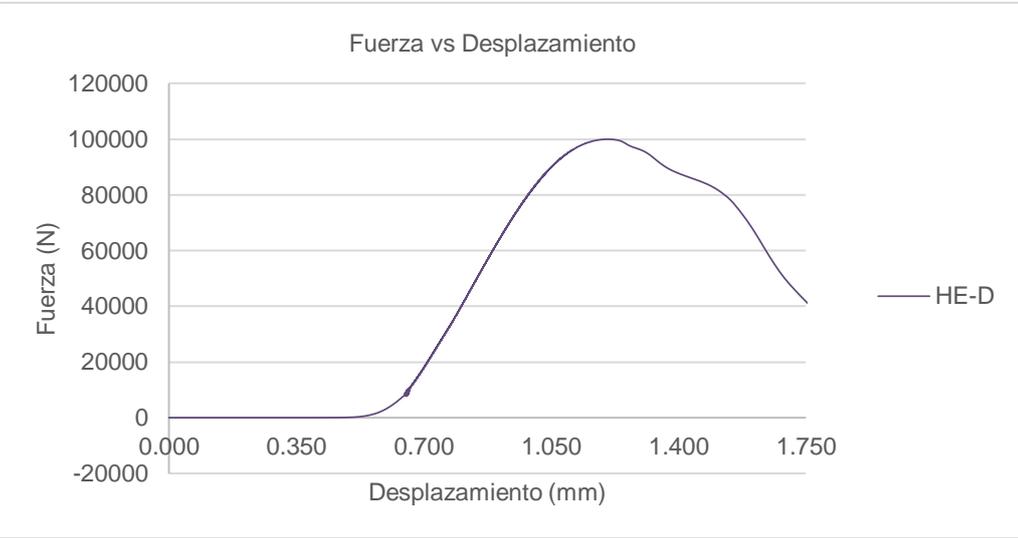
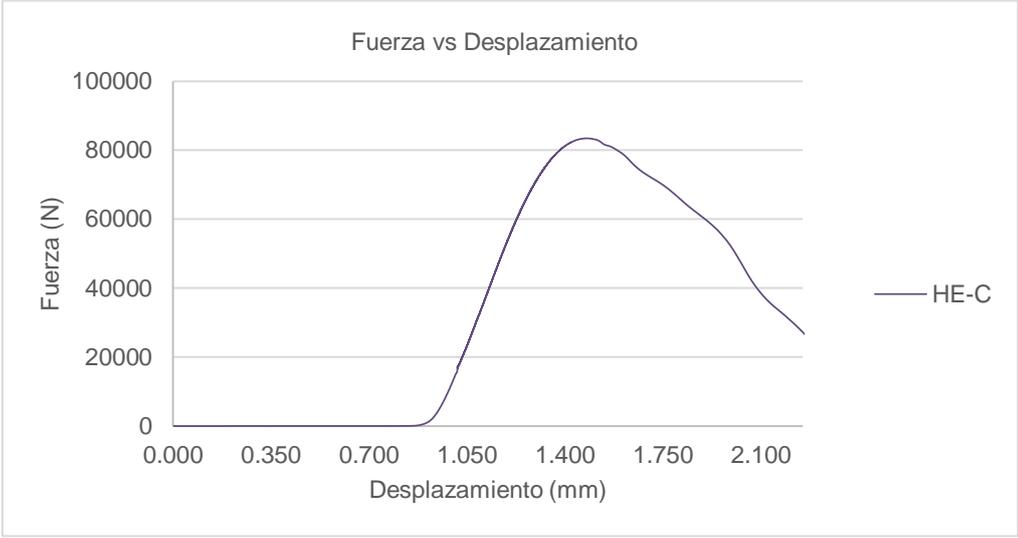
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
GU20%-A	27198	2586	10.5
GU20%-B	27250	2582	10.6
GU20%-C	26791	2591	10.3
Promedio			10.5

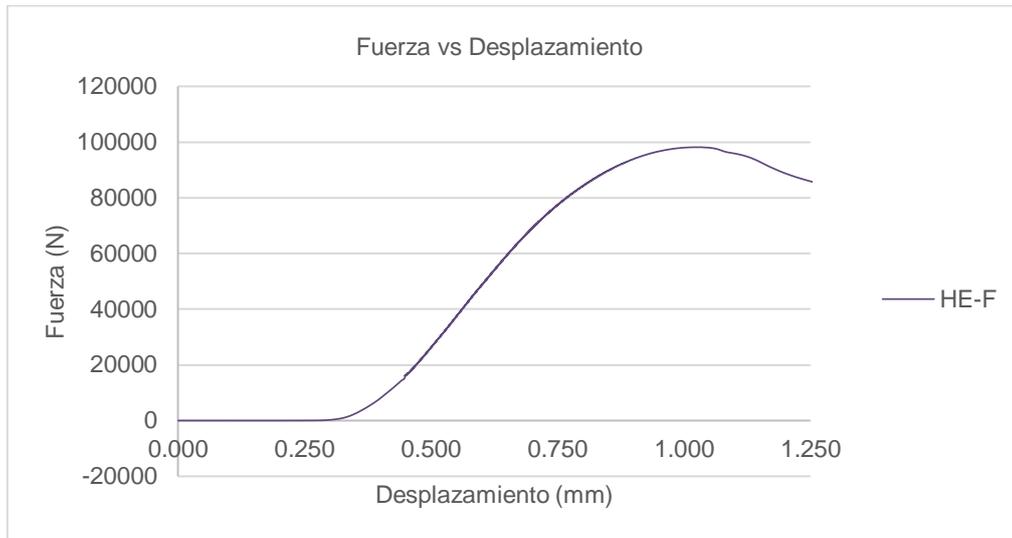
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
GU20%-D	36868	2610	14.1
GU20%-E	34271	2630	13.0
GU20%-F	37113	2603	14.3
Promedio			13.8

HE Patrón







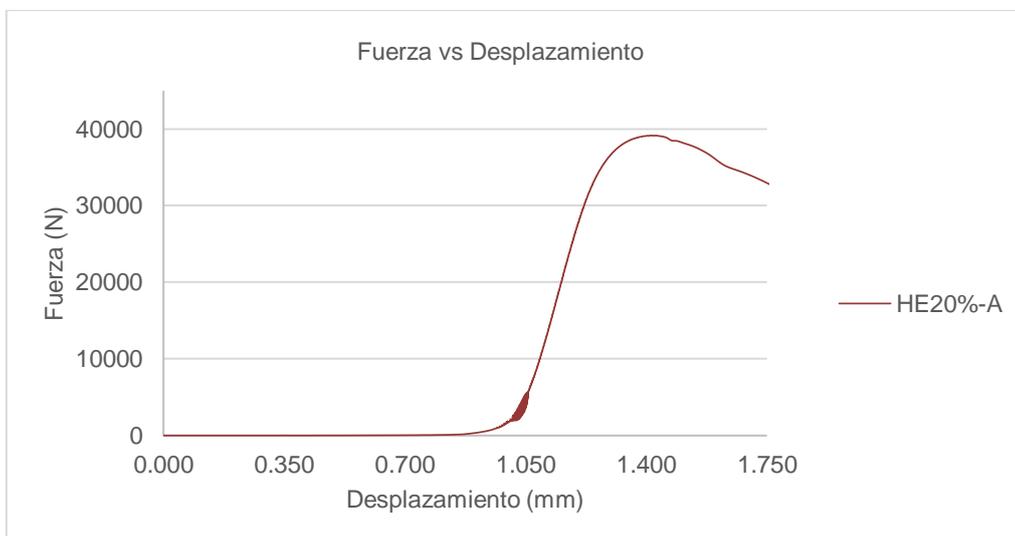
7días

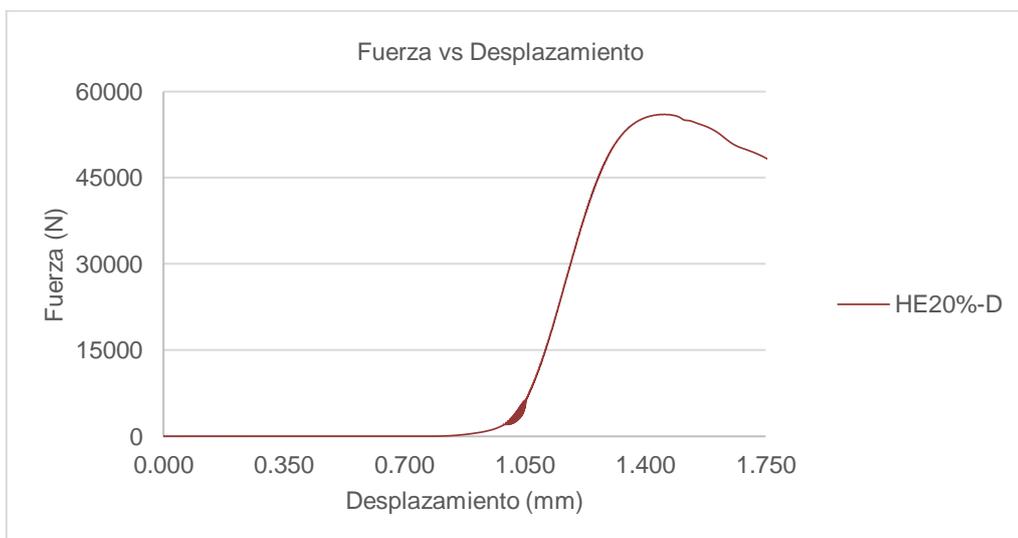
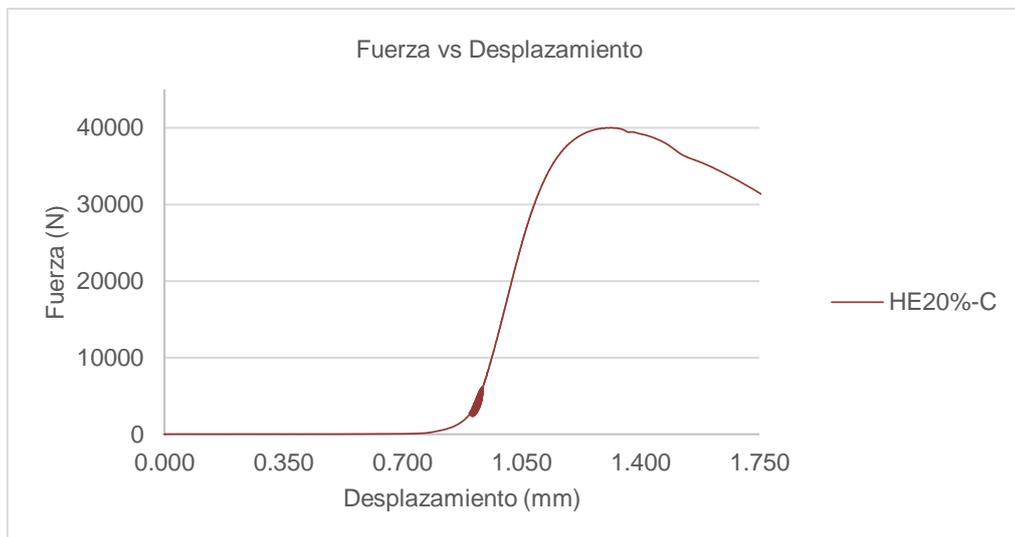
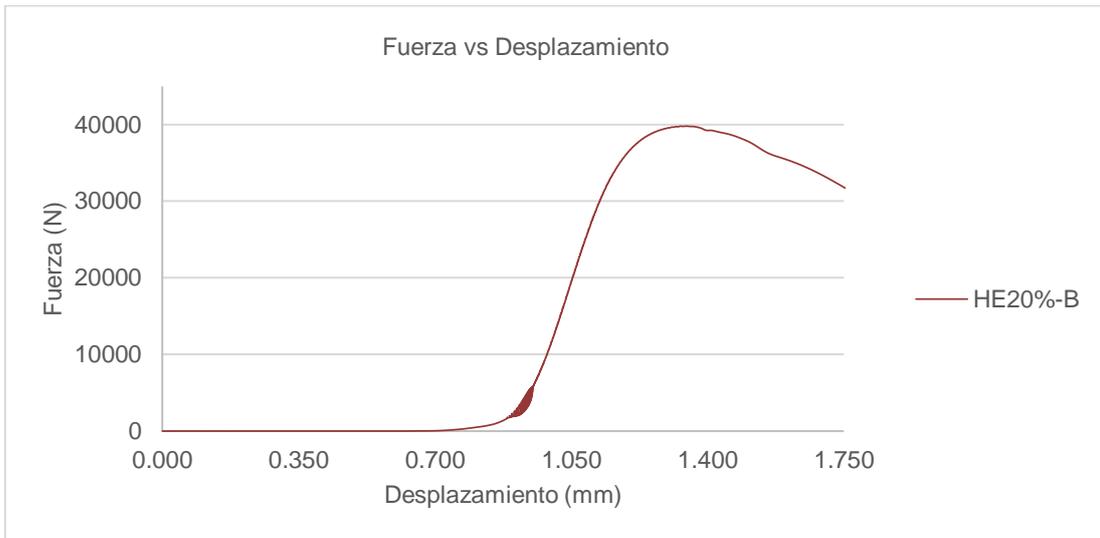
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
HE-A	84479	2550	33.1
HE-B	86239	2572	33.5
HE-C	83479	2554	32.7
Promedio			33.1

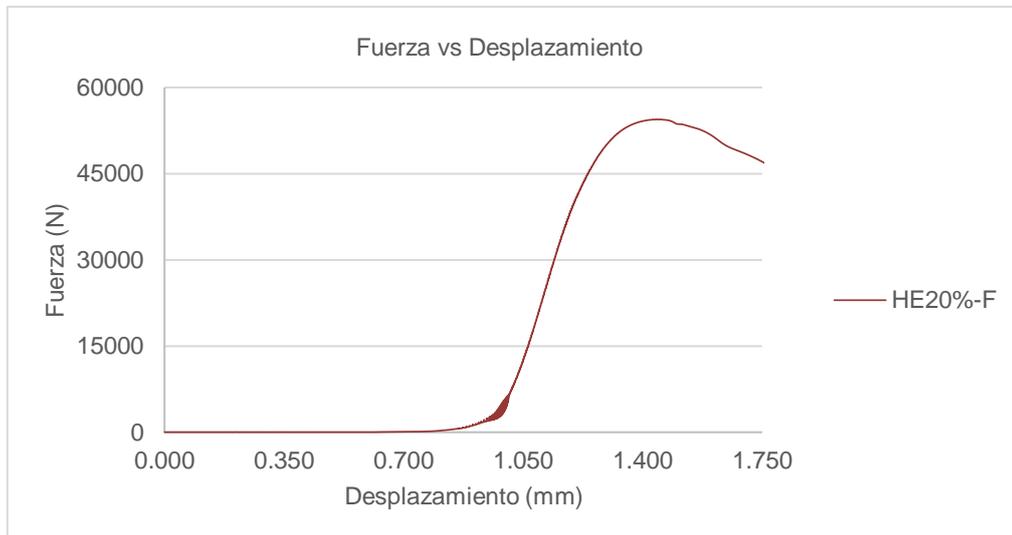
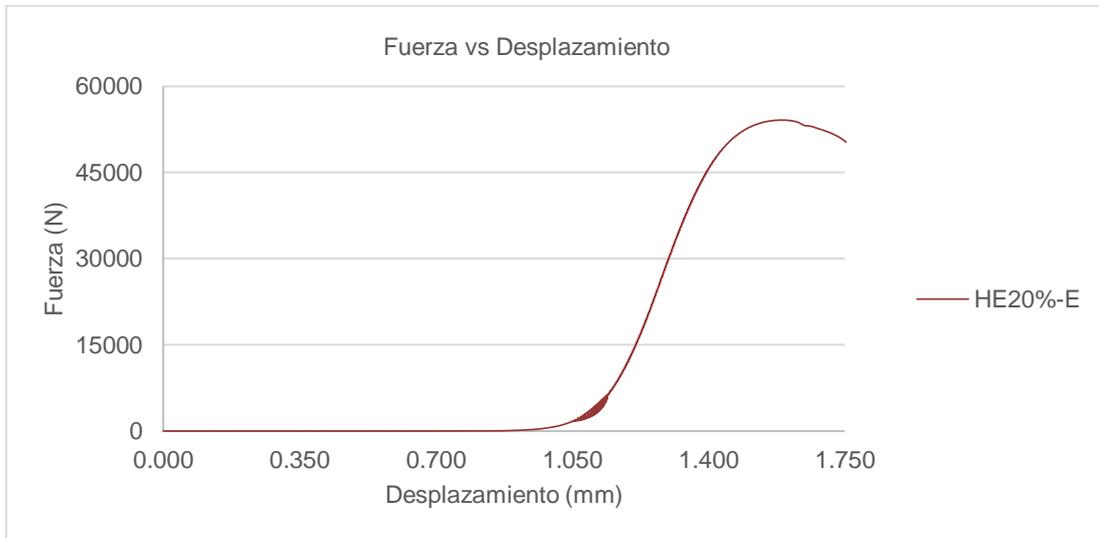
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
HE-D	100000	2611	38.3
HE-E	101025	2601	38.8
HE-F	98161	2618	37.5
Promedio			38.2

HE 20%







7días

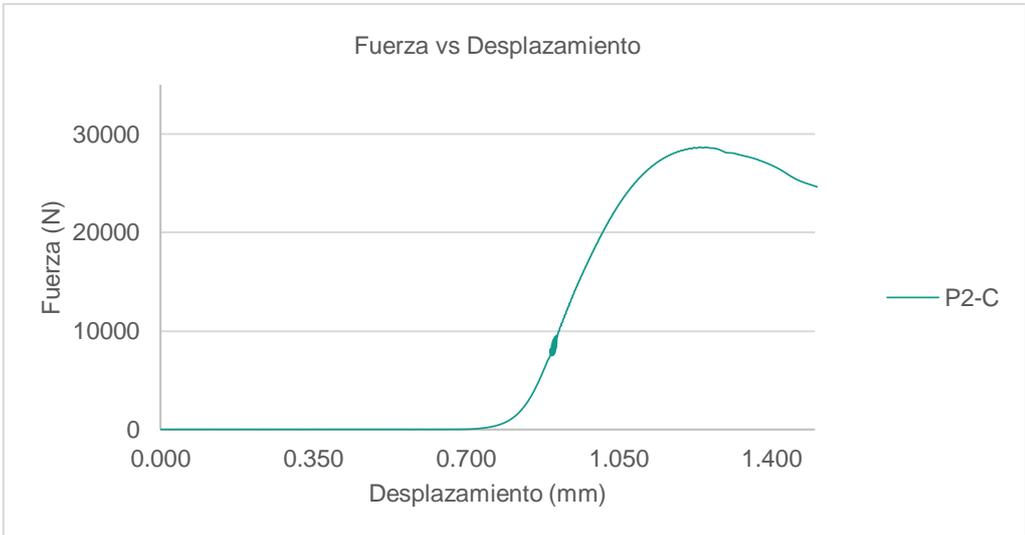
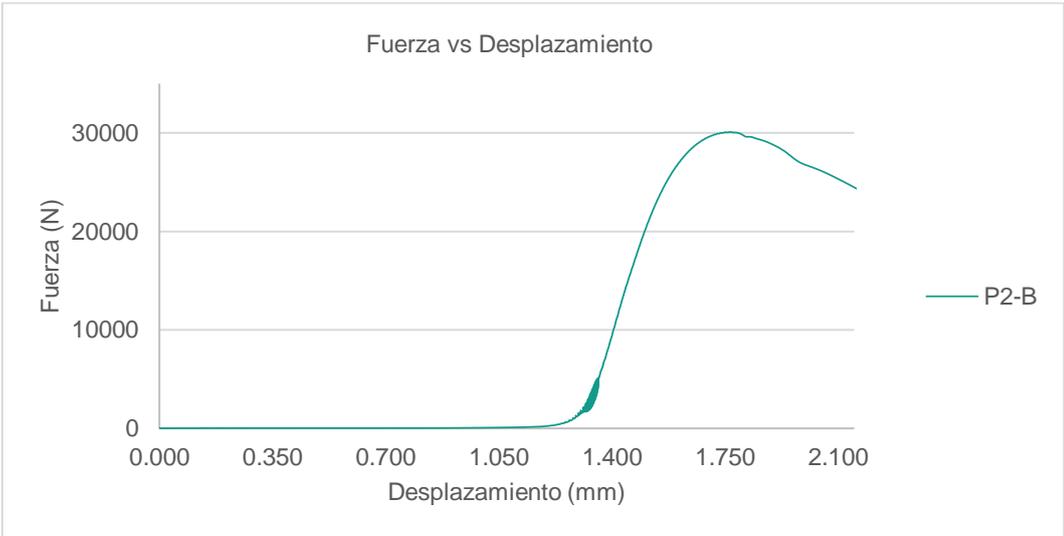
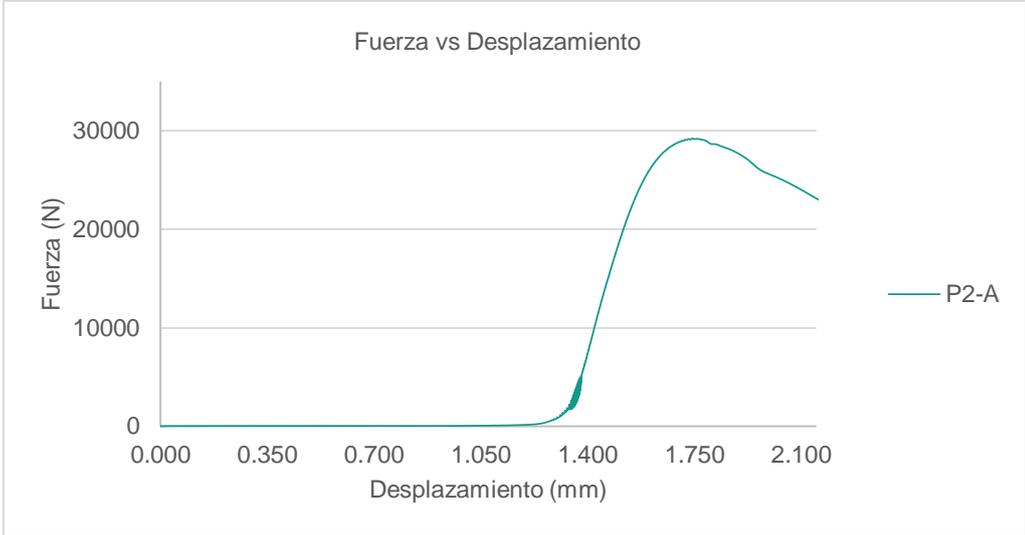
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
HE20%-A	39166	2596	15.1
HE20%-B	39805	2562	15.5
HE20%-C	40010	2584	15.5
Promedio			15.4

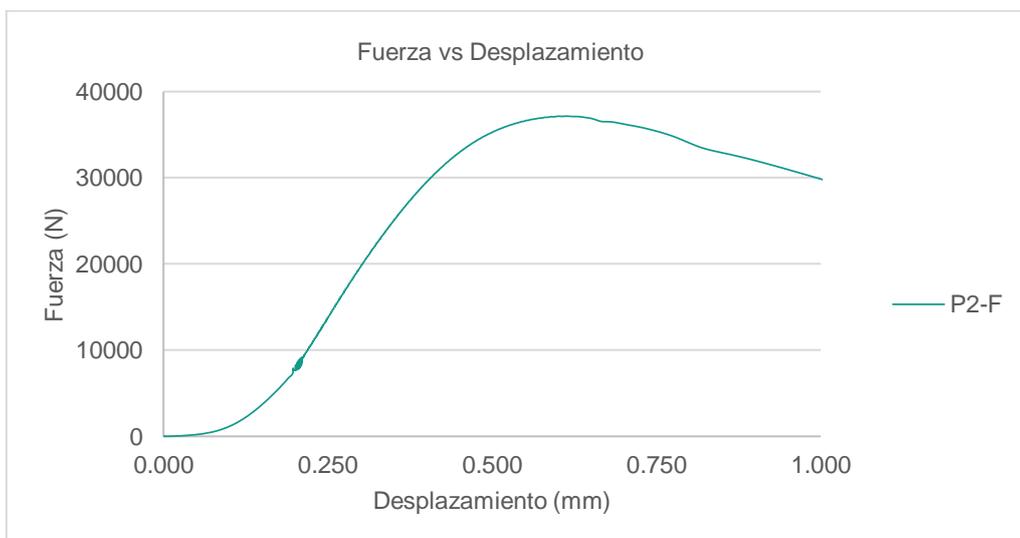
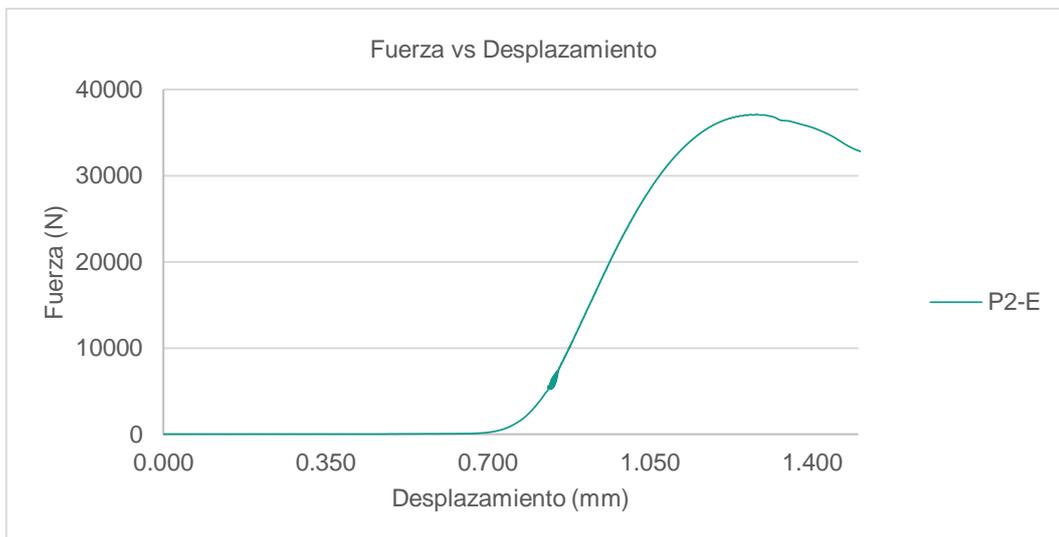
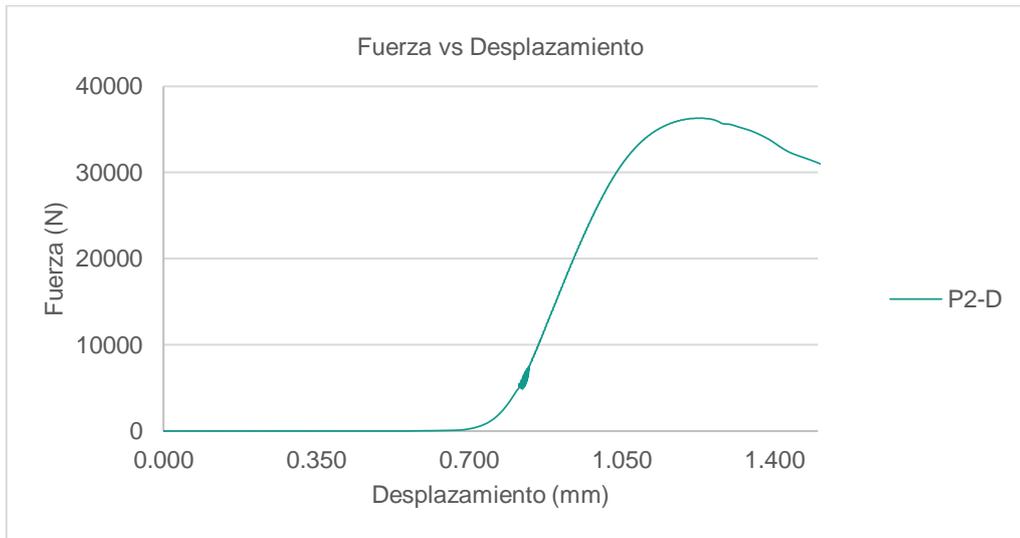
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
HE20%-D	56041	2579	21.7
HE20%-E	54135	2569	21.1
HE20%-F	54450	2587	21.0
Promedio			21.3

Escenario 2

P2 Patrón





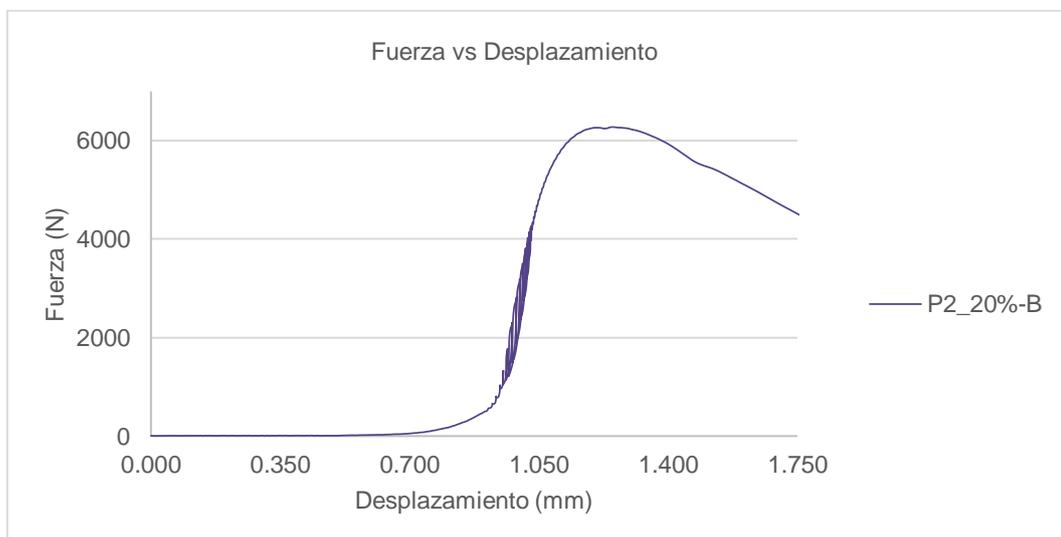
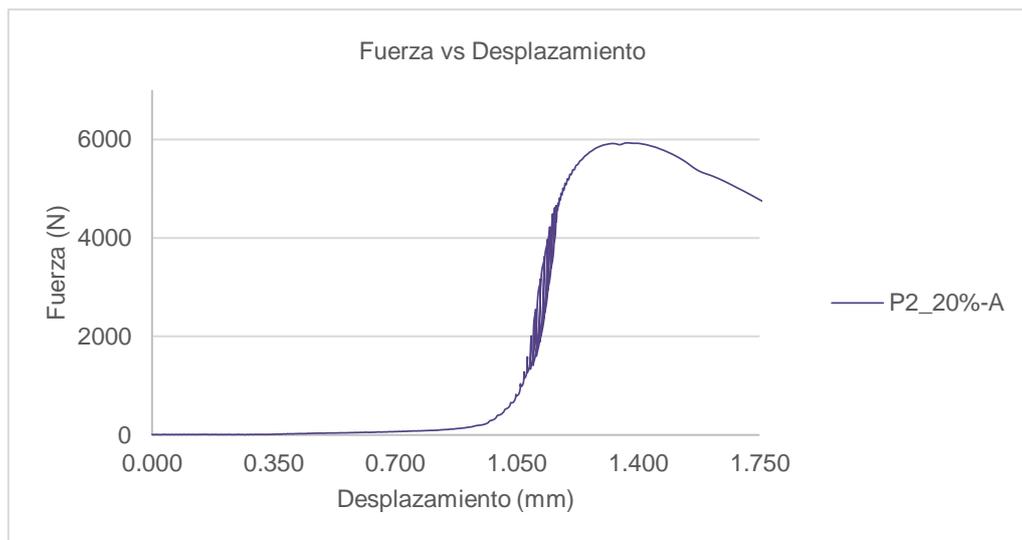
7días

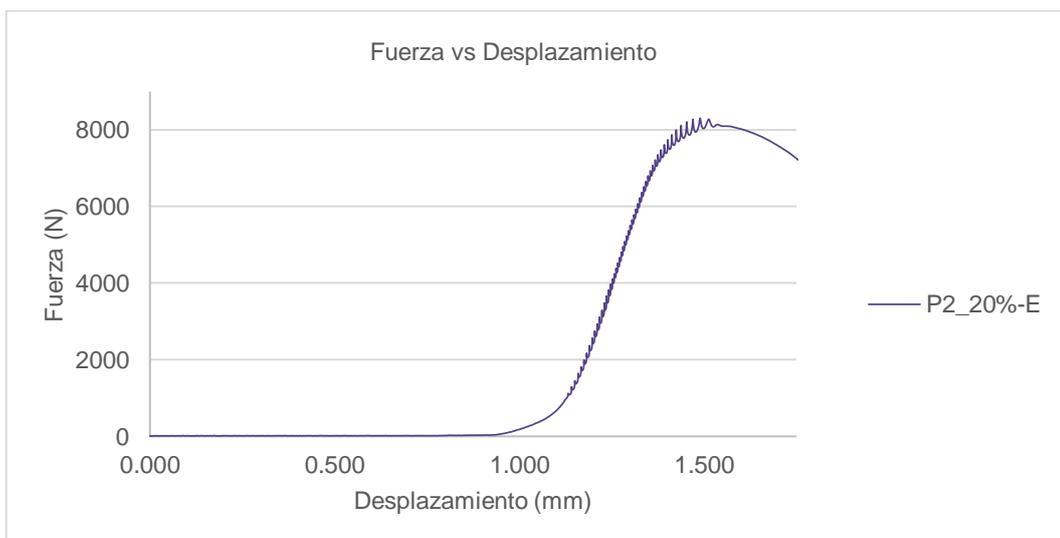
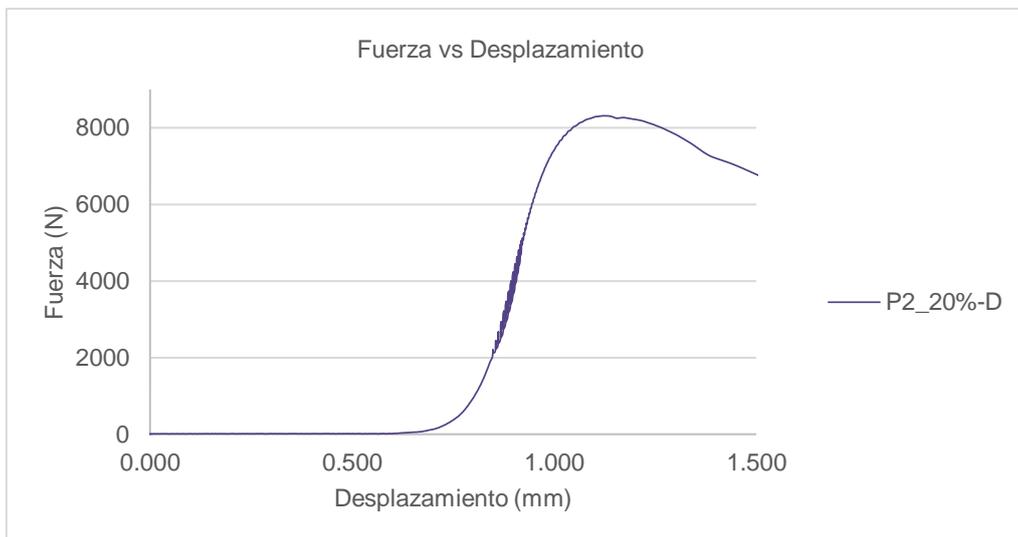
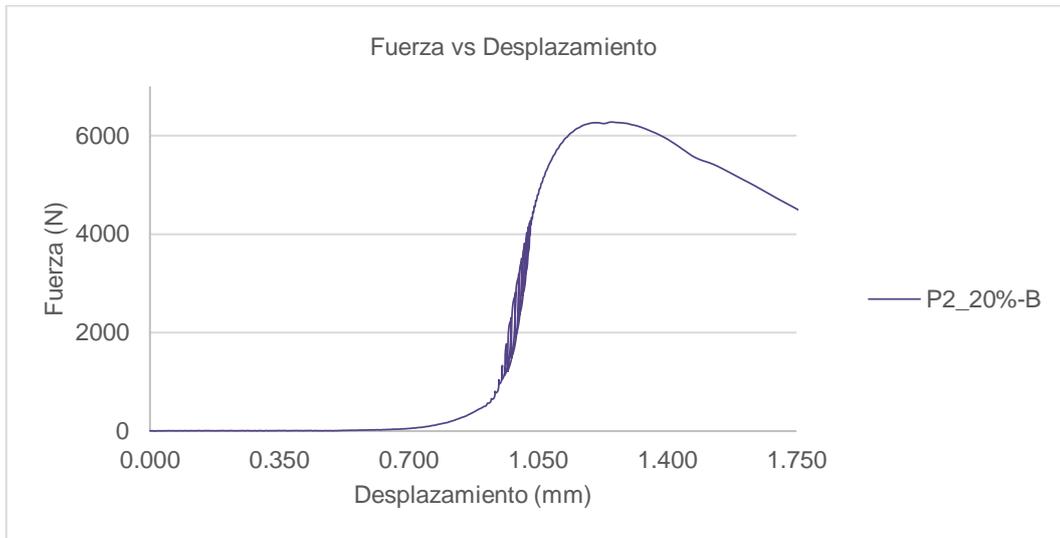
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P2-A	29207	2608	11.2
P2-B	30094	2613	11.5
P2-C	28659	2603	11.0
Promedio			11.2

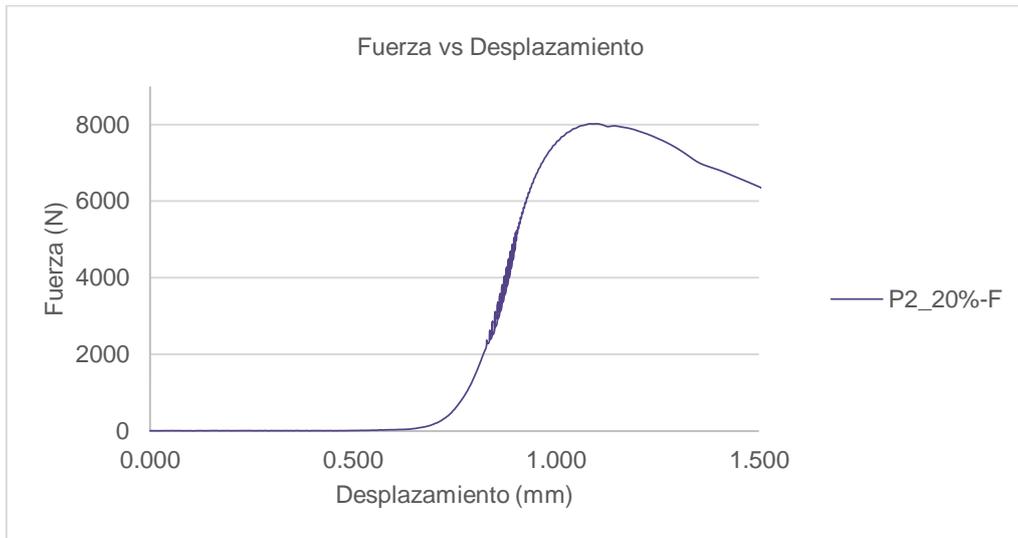
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P2-D	36311	2608	13.9
P2-E	37097	2611	14.2
P2-F	37155	2613	14.2
Promedio			14.1

P2 20%







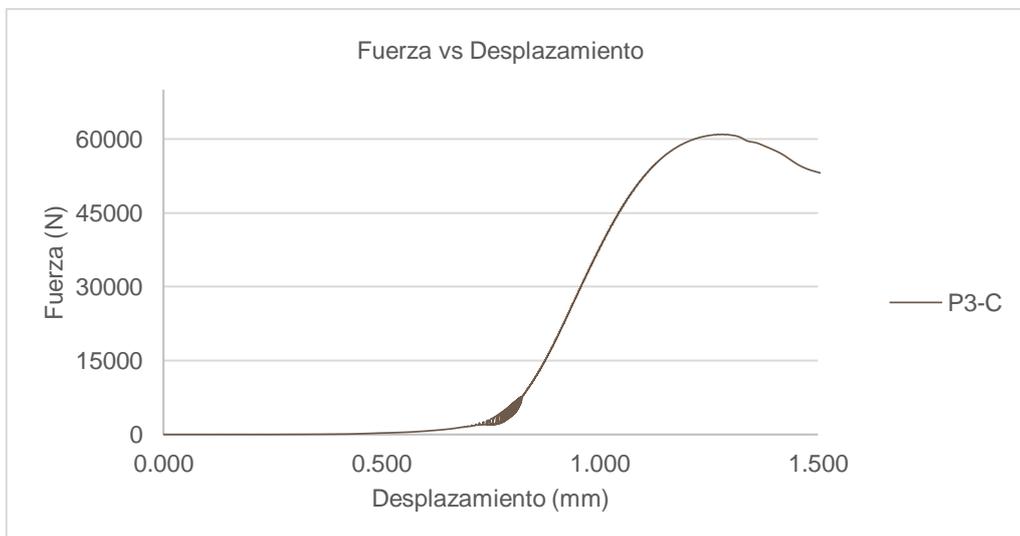
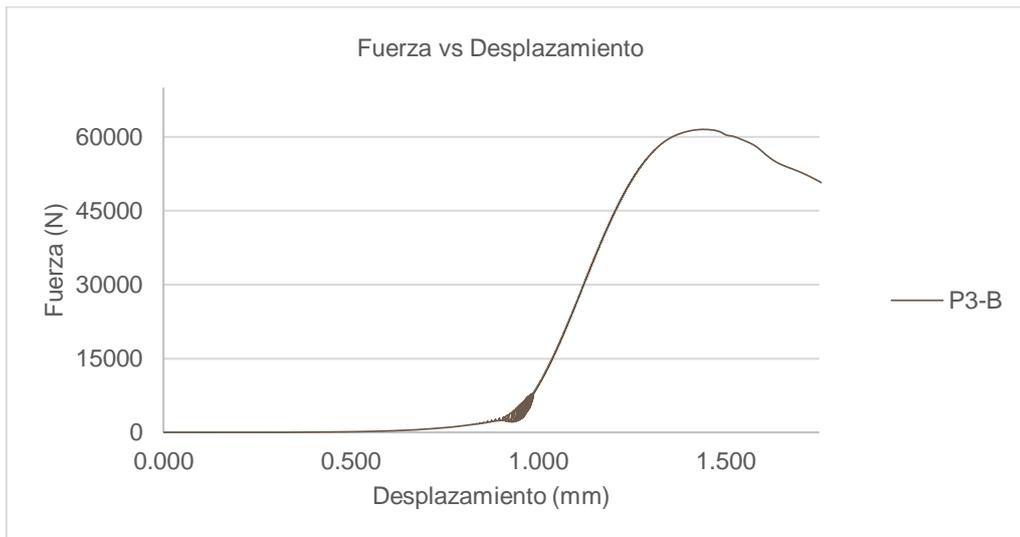
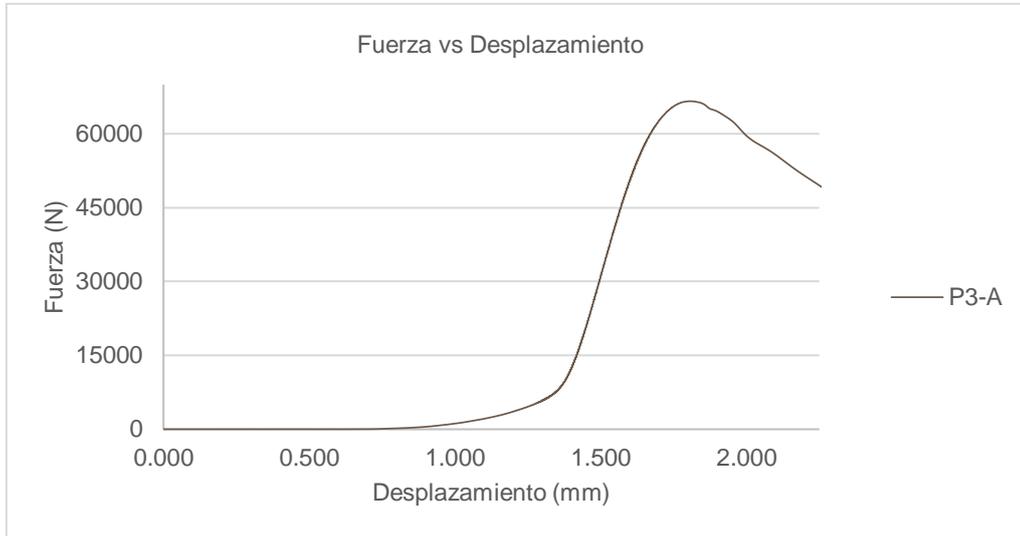
7días

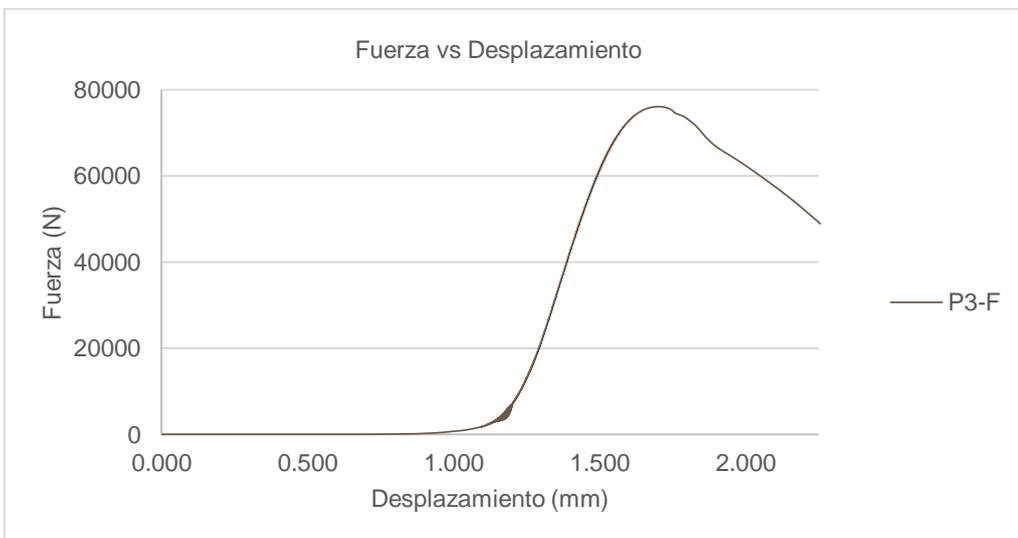
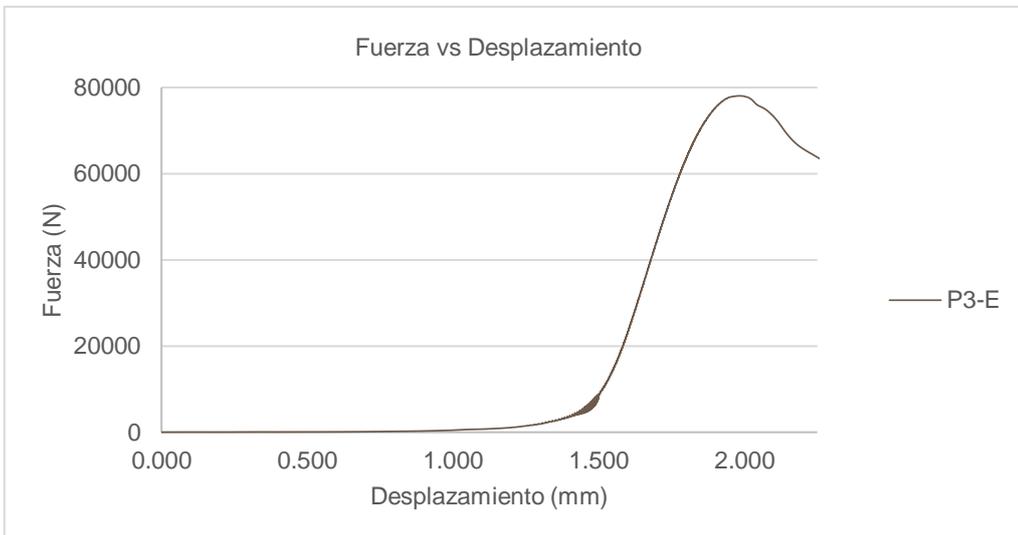
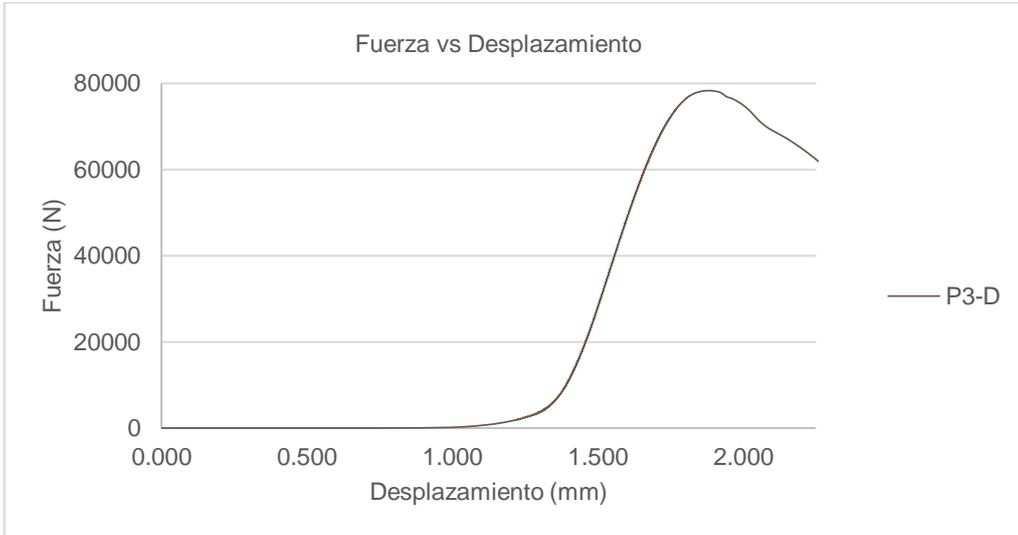
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
P2_20%-A	5931	2618	2.3
P2_20%-B	6276	2609	2.4
P2_20%-C	5367	2618	2.0
Promedio			2.2

28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
P2_20%-D	8314	2633	3.2
P2_20%-E	8304	2620	3.2
P2_20%-F	8022	2627	3.1
Promedio			3.1

P3 Patrón

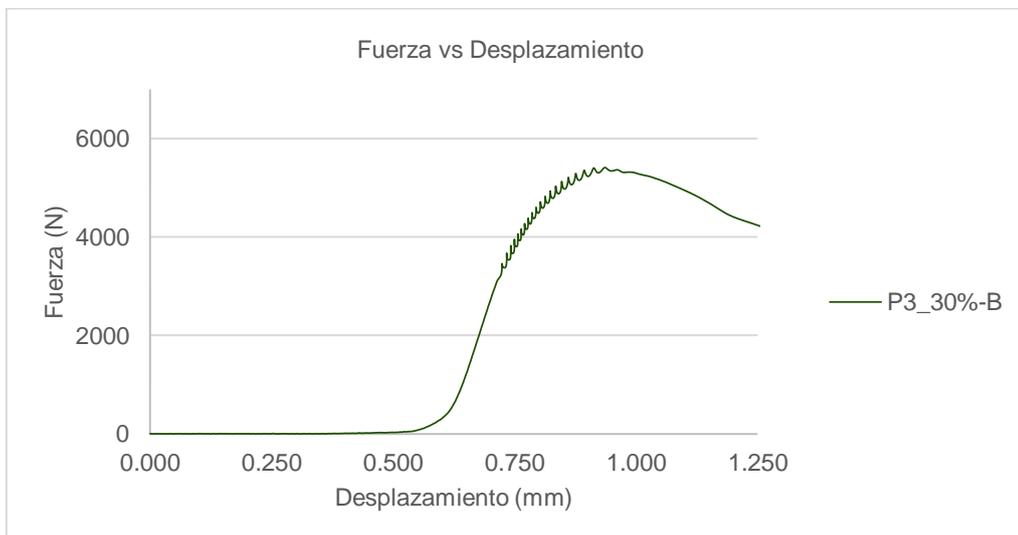
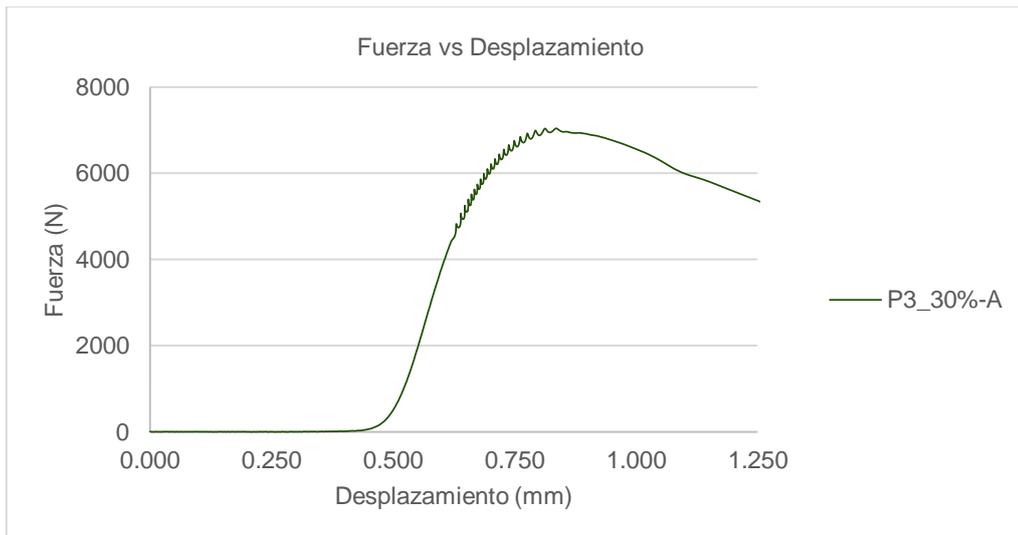


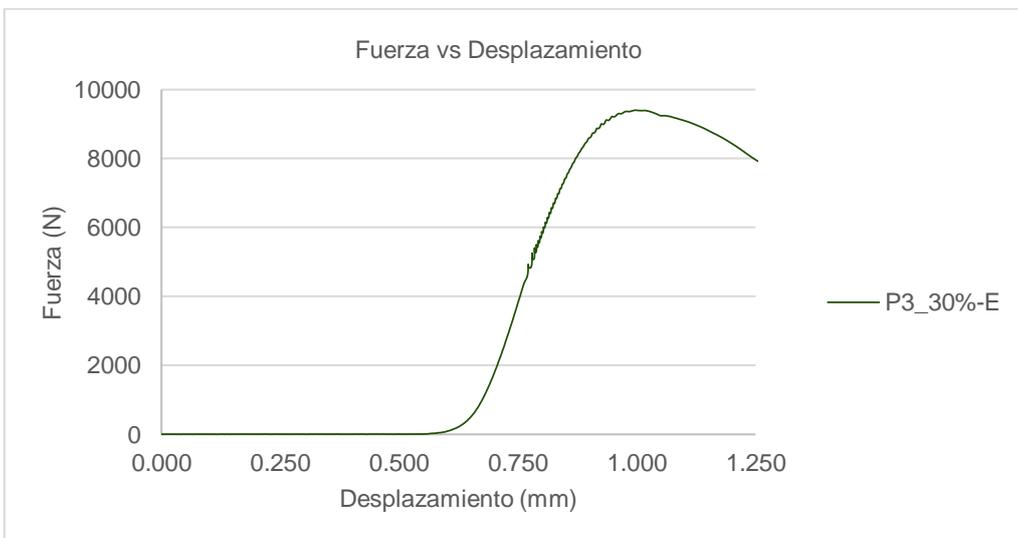
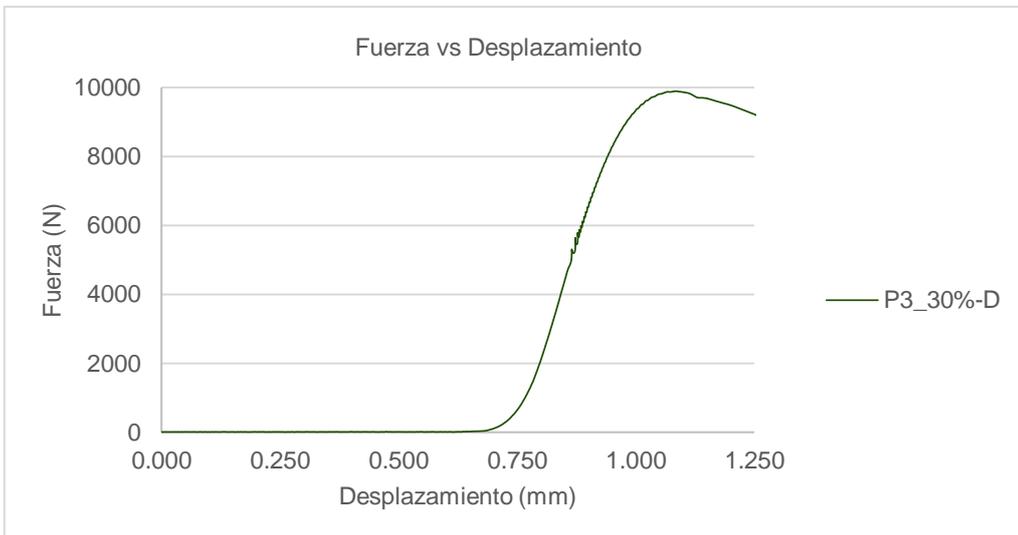
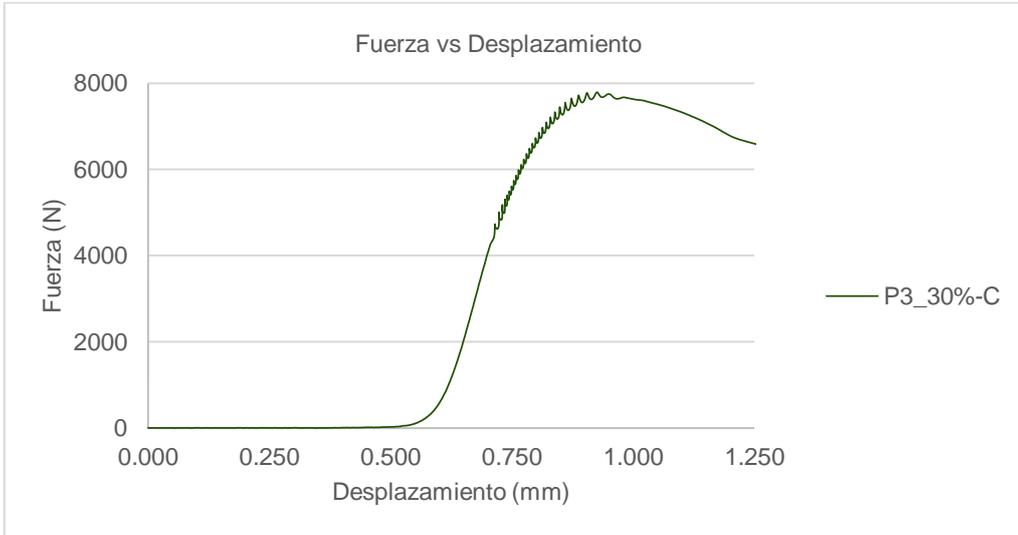


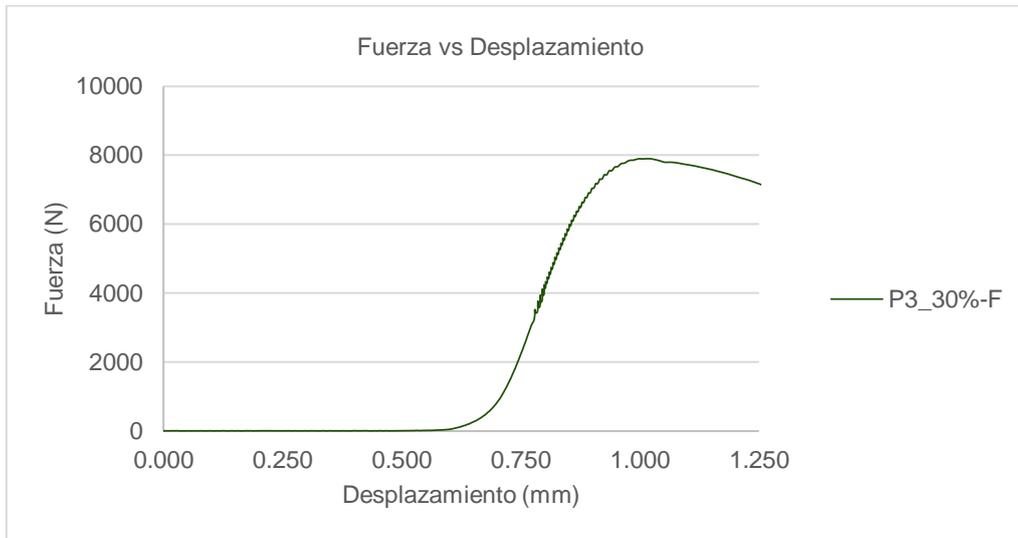
7días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	P3-A	66610	2639	25.2
	P3-B	61531	2630	23.4
	P3-C	60951	2642	23.1
	Promedio			23.9

28días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	P3-D	78340	2647	29.6
	P3-E	78076	2642	29.6
	P3-F	76056	2637	28.8
	Promedio			29.3

P3 30%







7días

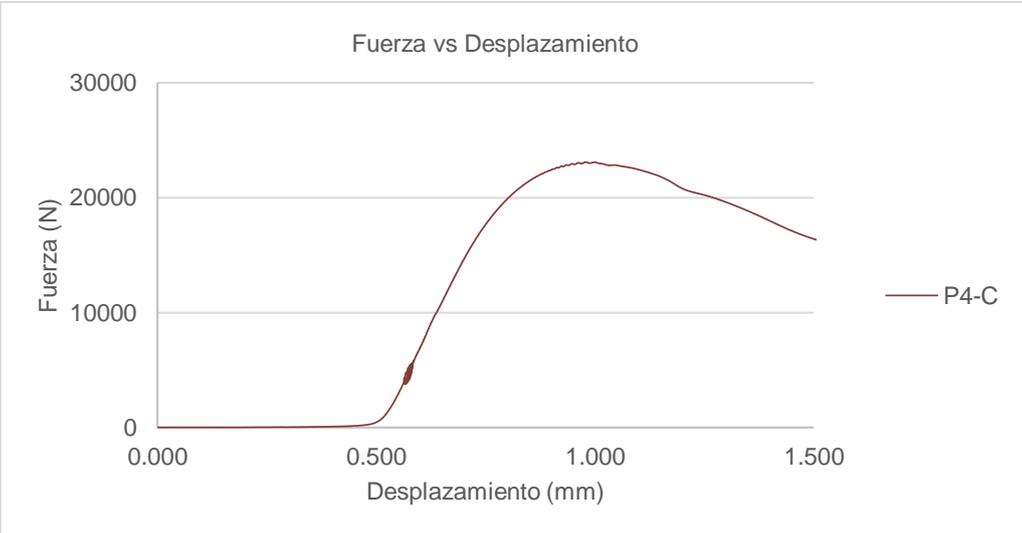
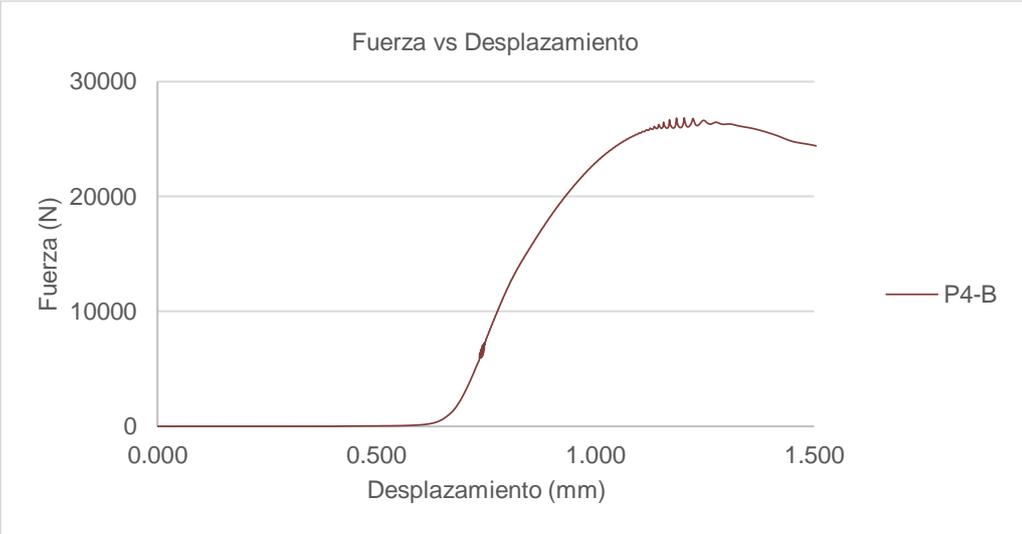
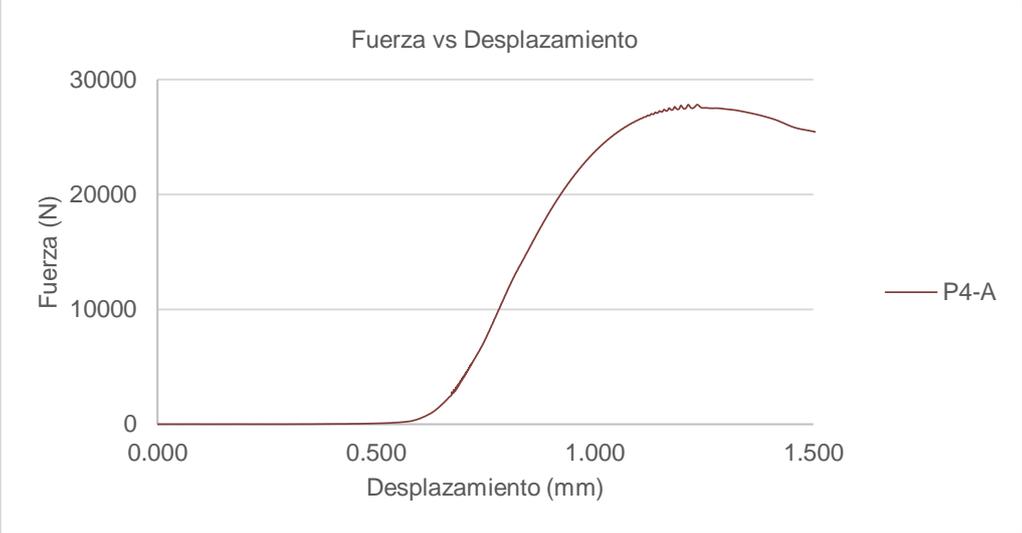
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P3_30%-A	7043	2592	2.7
P3_30%-B	5410	2593	2.1
P3_30%-C	7793	2601	3.0
Promedio			2.6

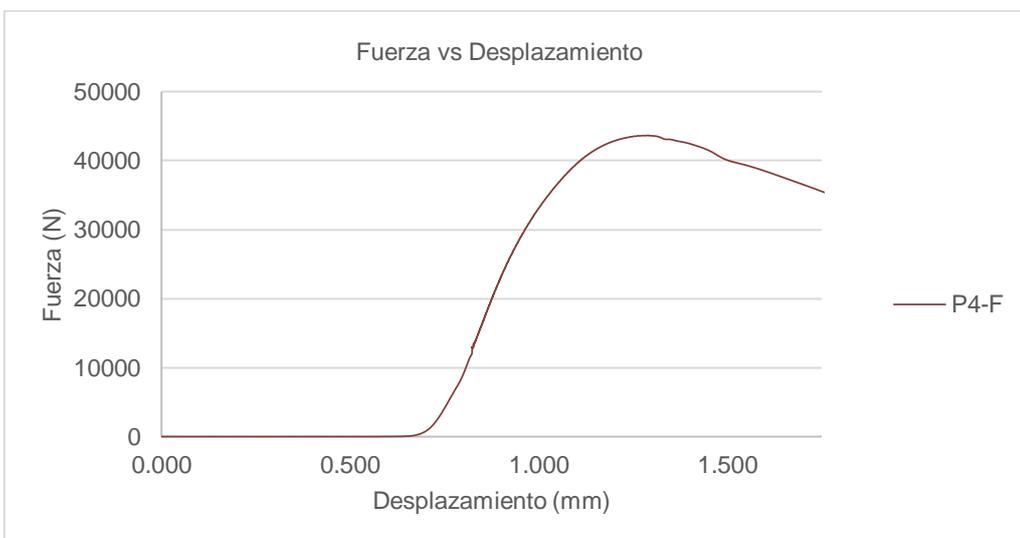
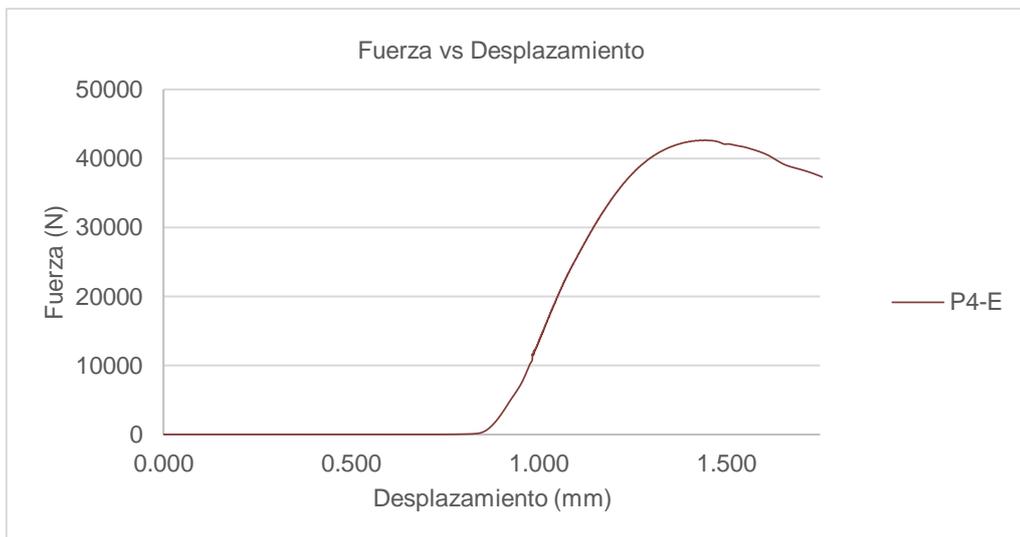
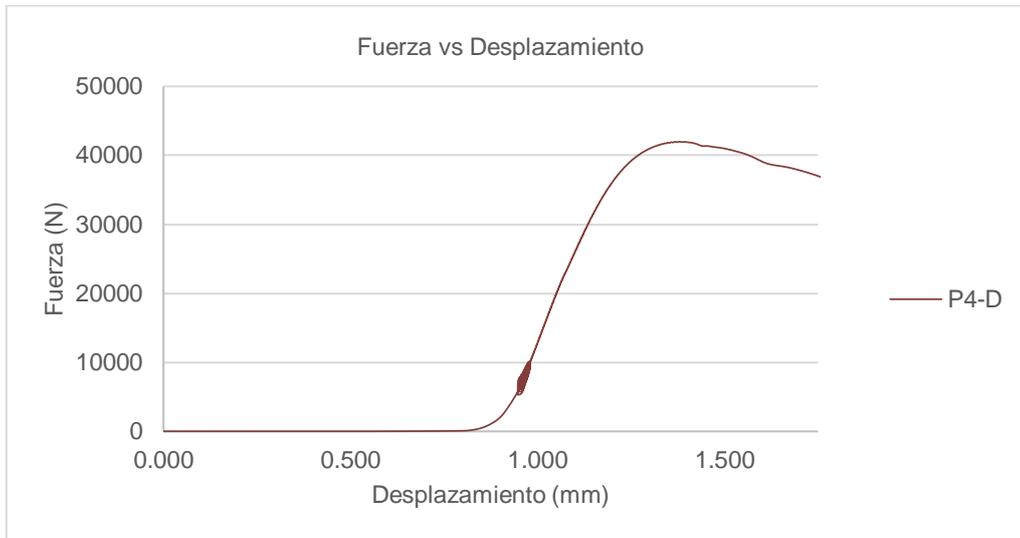
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P3_30%-D	9892	2599	3.8
P3_30%-E	9402	2601	3.6
P3_30%-F	7901	2596	3.0
Promedio			3.5

Escenario 3

P4 Arena 20%





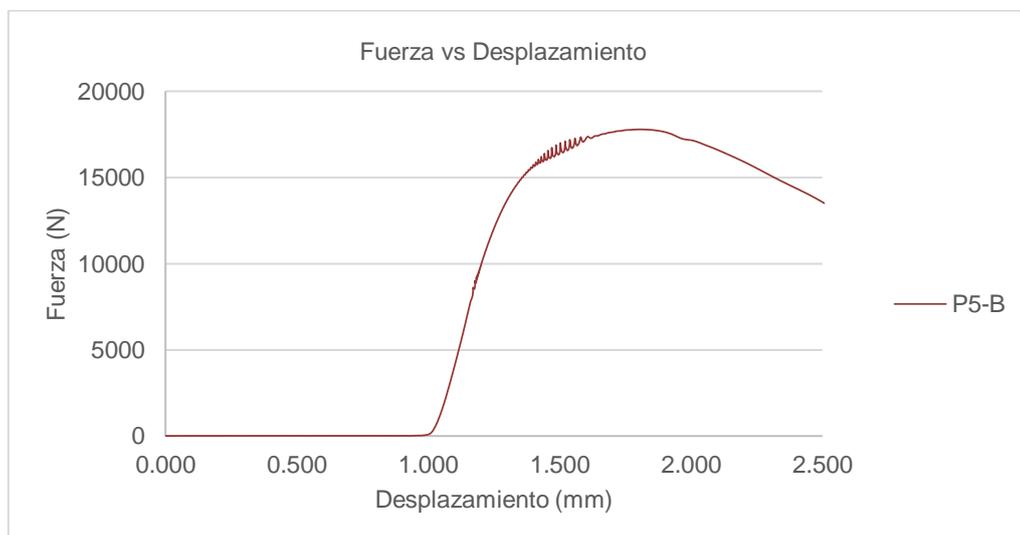
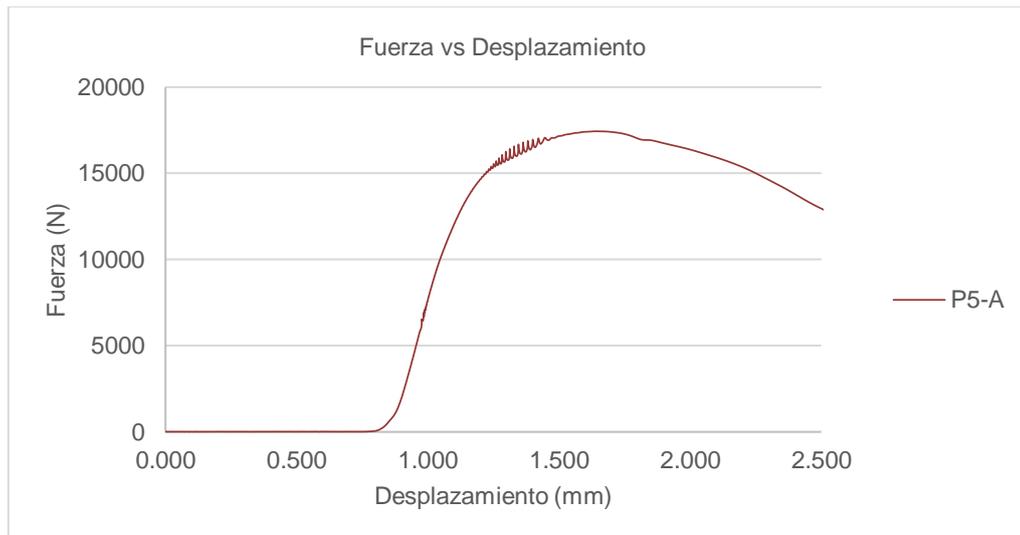
7días

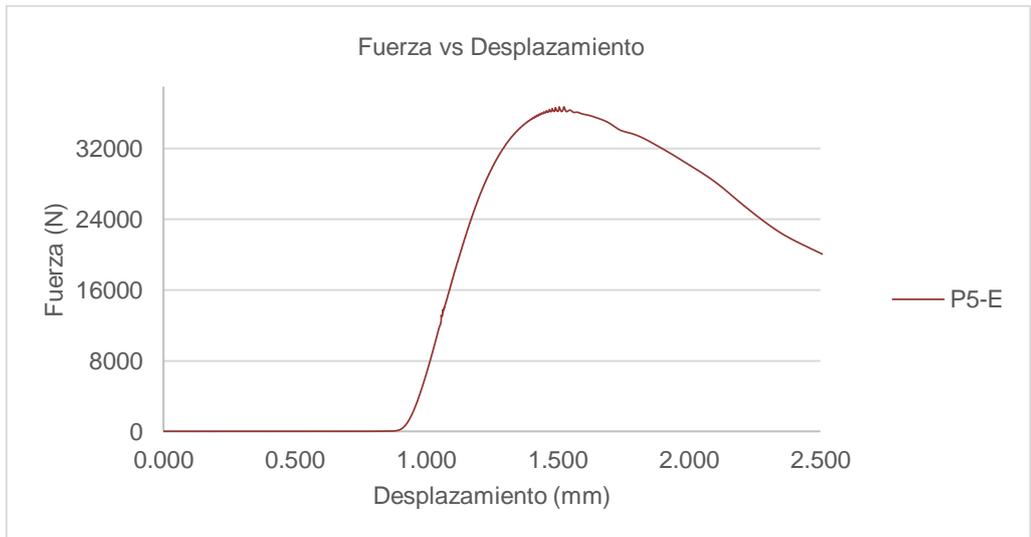
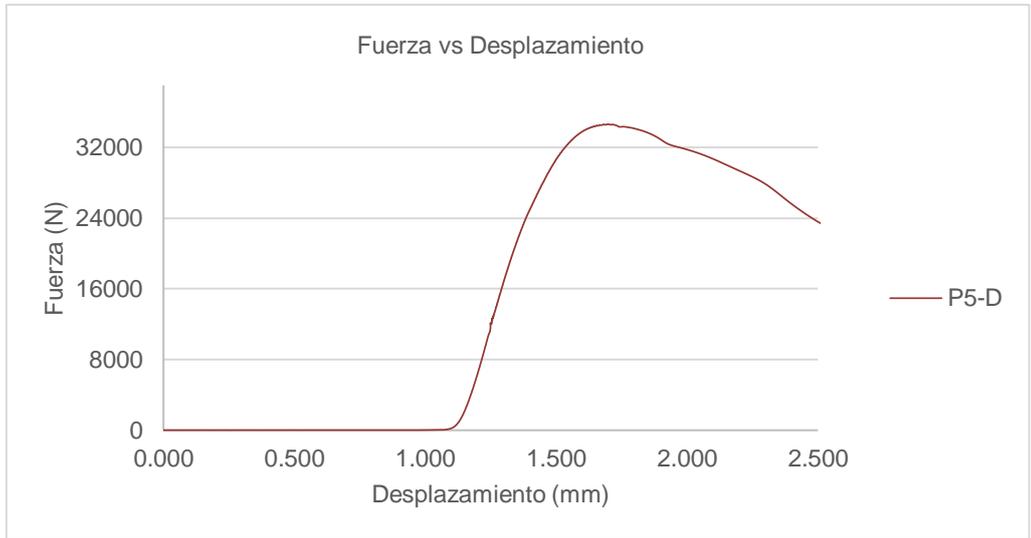
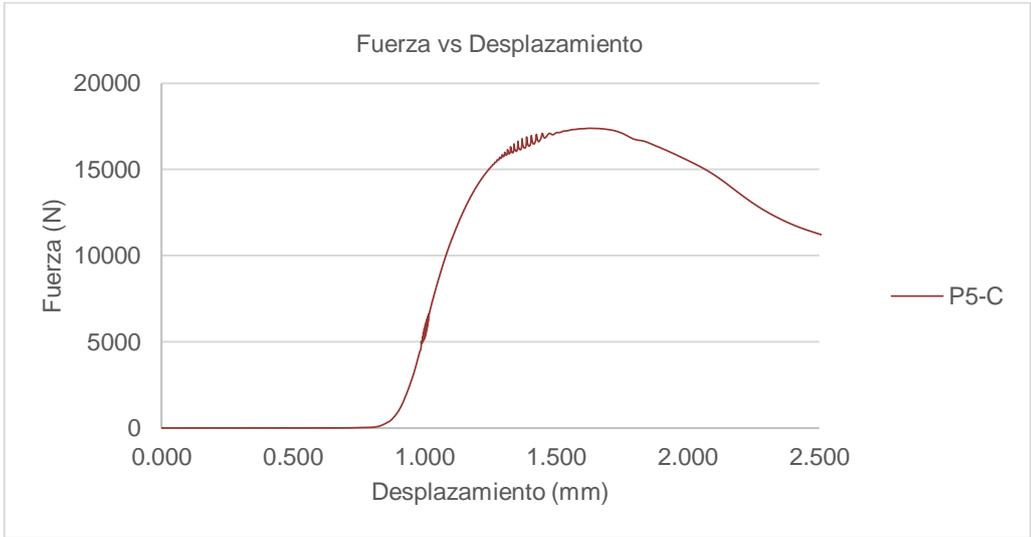
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P4-A	27807	2608	10.7
P4-B	26841	2594	10.3
P4-C	23097	2584	8.9
Promedio			10.0

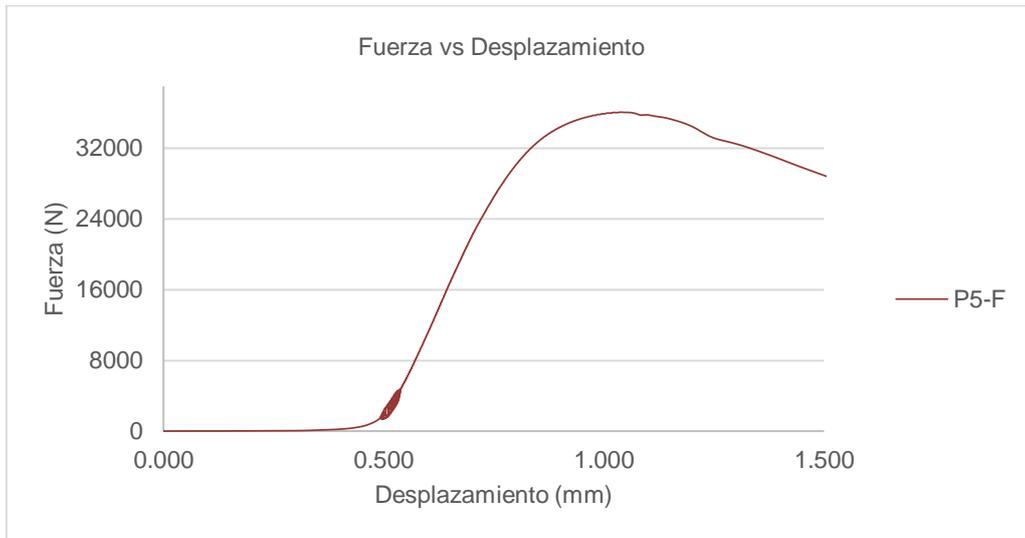
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
P4-D	41984	2609	16.1
P4-E	42655	2603	16.4
P4-F	43642	2606	16.7
Promedio			16.4

P5 Arena 50%







7días

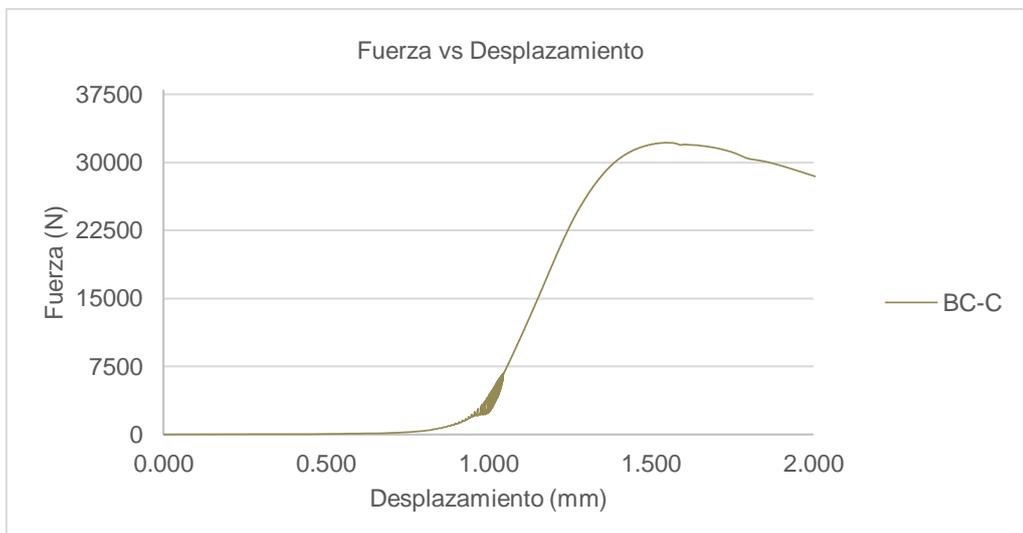
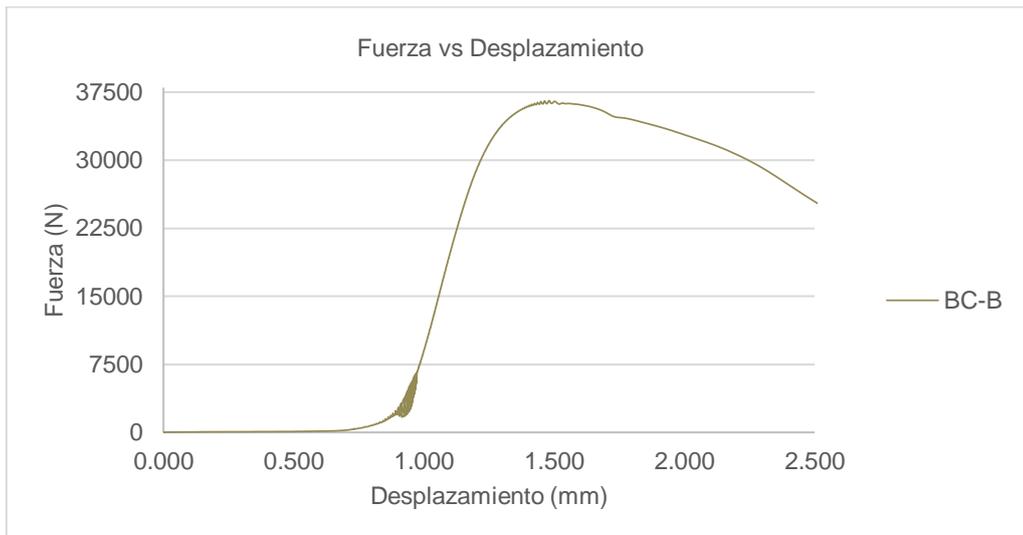
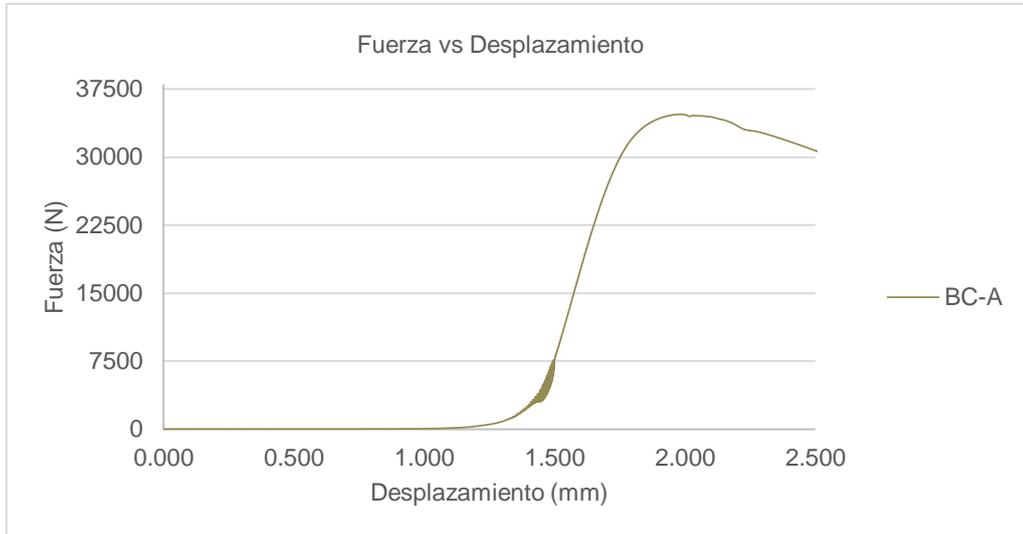
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
P5-A	17439	2565	6.8
P5-B	17789	2577	6.9
P5-C	17394	2577	6.7
Promedio			6.8

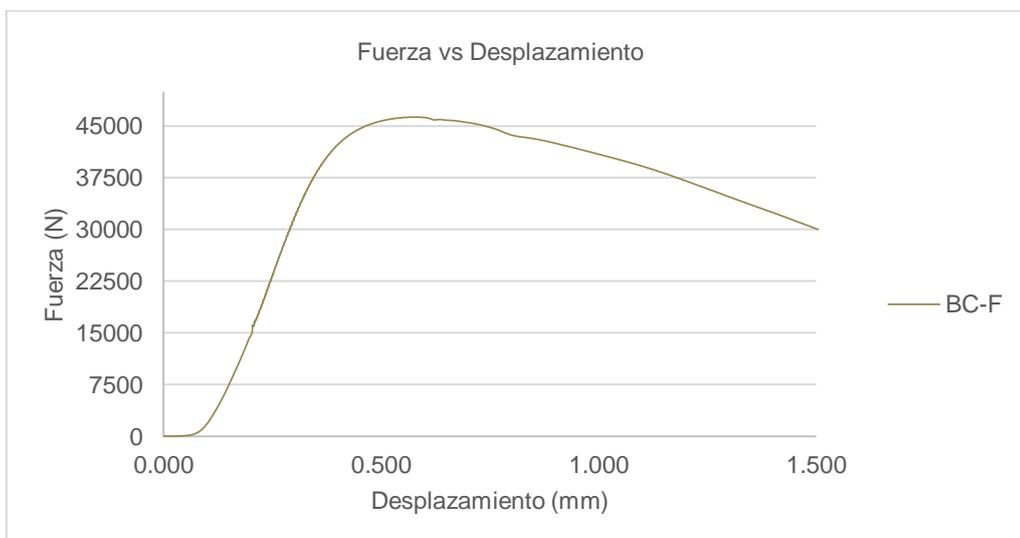
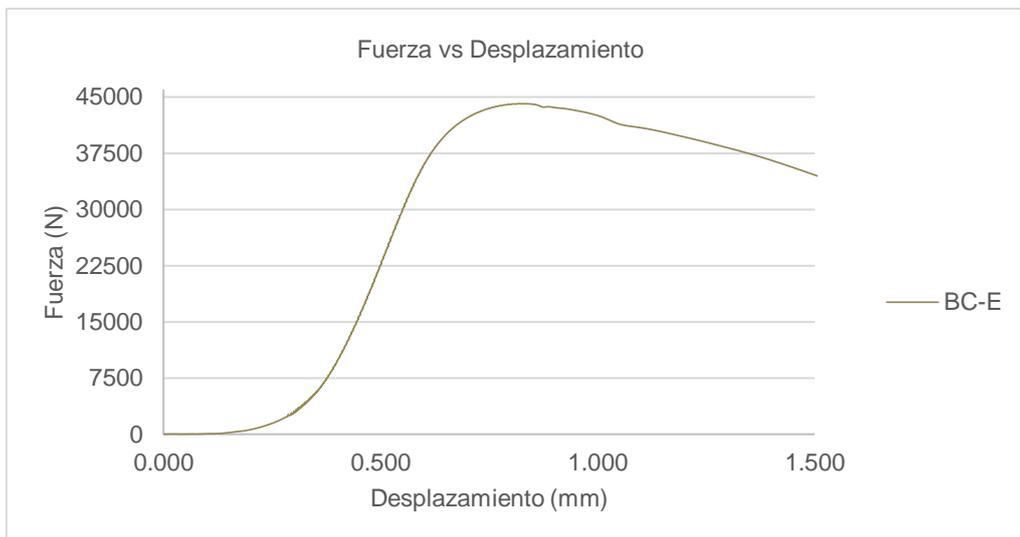
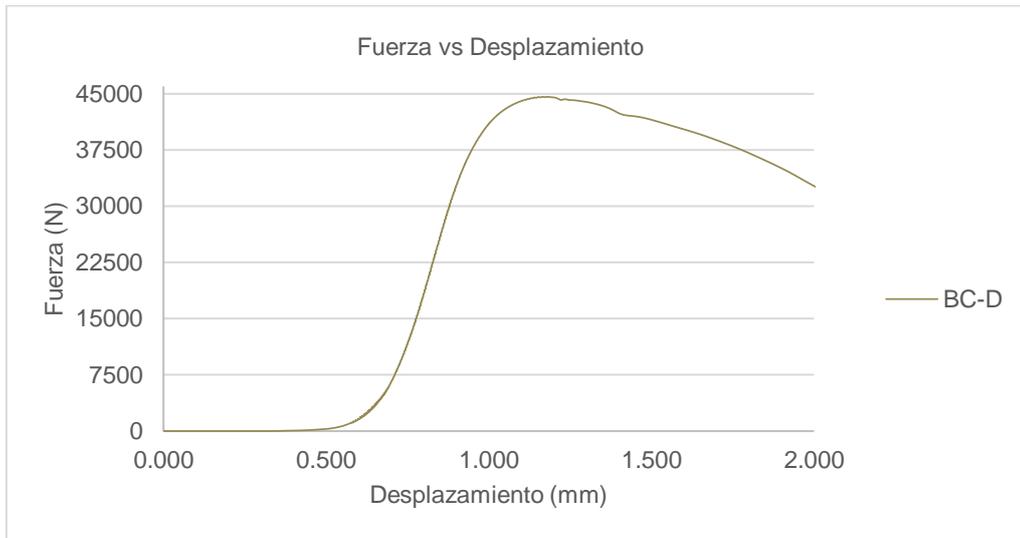
28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
P5-D	34615	2593	13.4
P5-E	36698	2589	14.2
P5-F	36077	2582	14.0
Promedio			13.8

Proporciones de diseño

BC Control

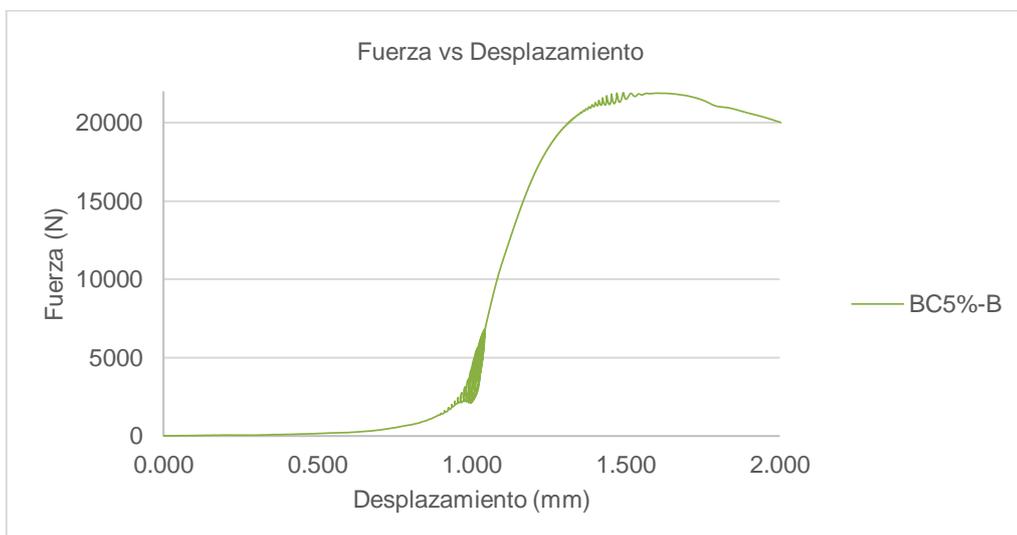
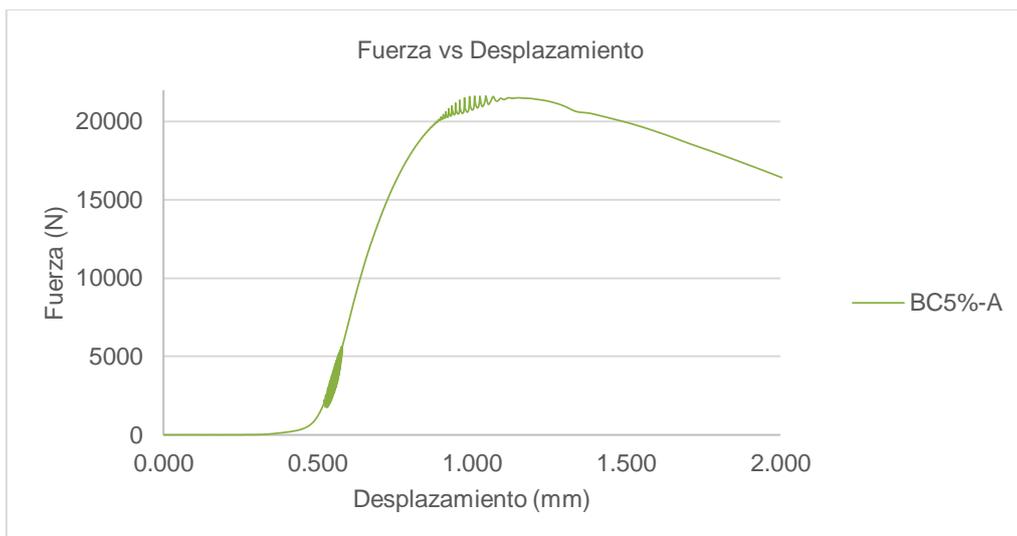


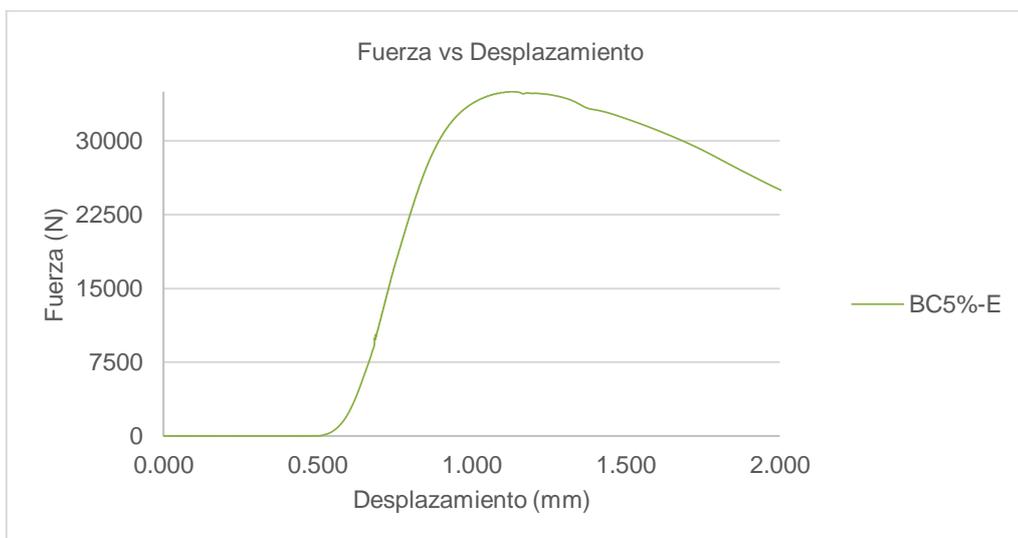
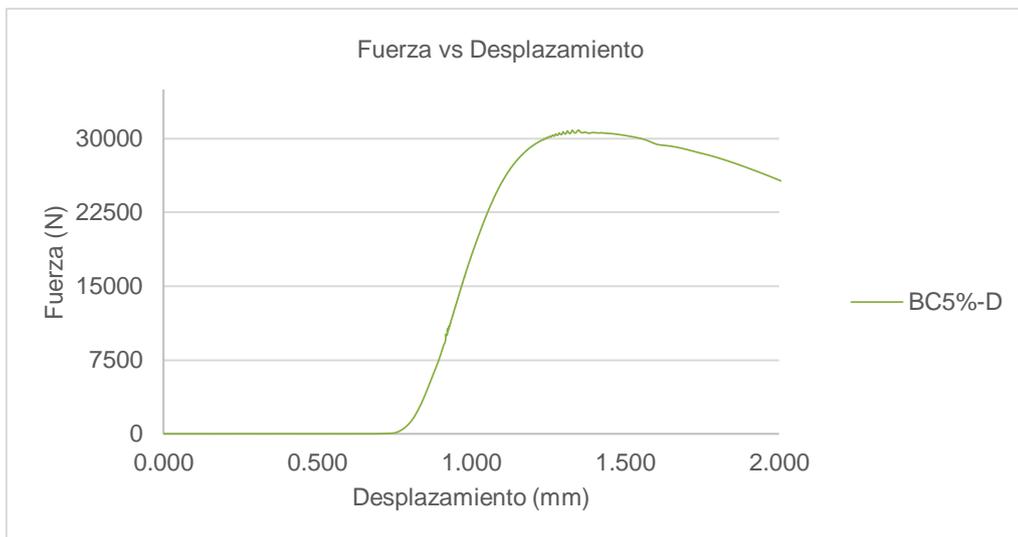
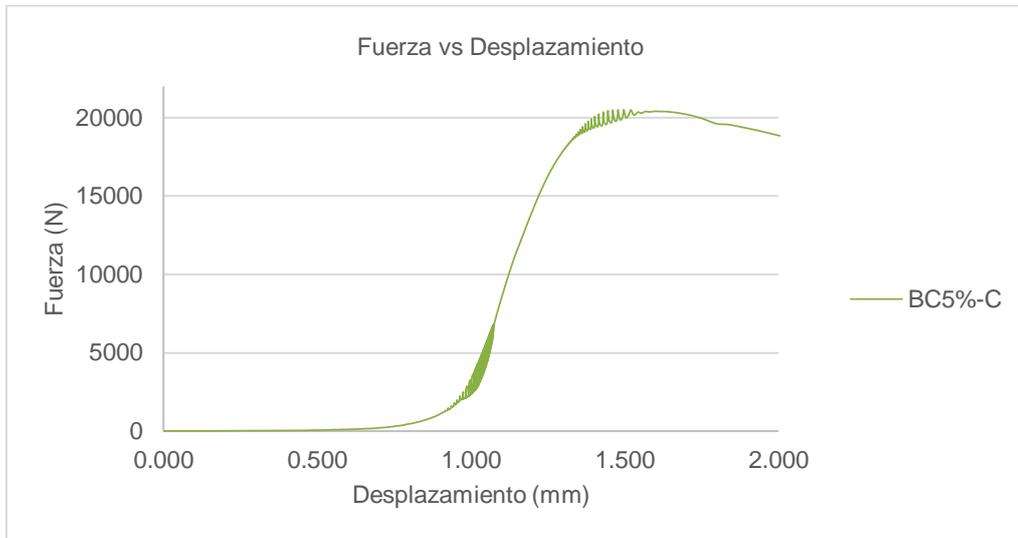


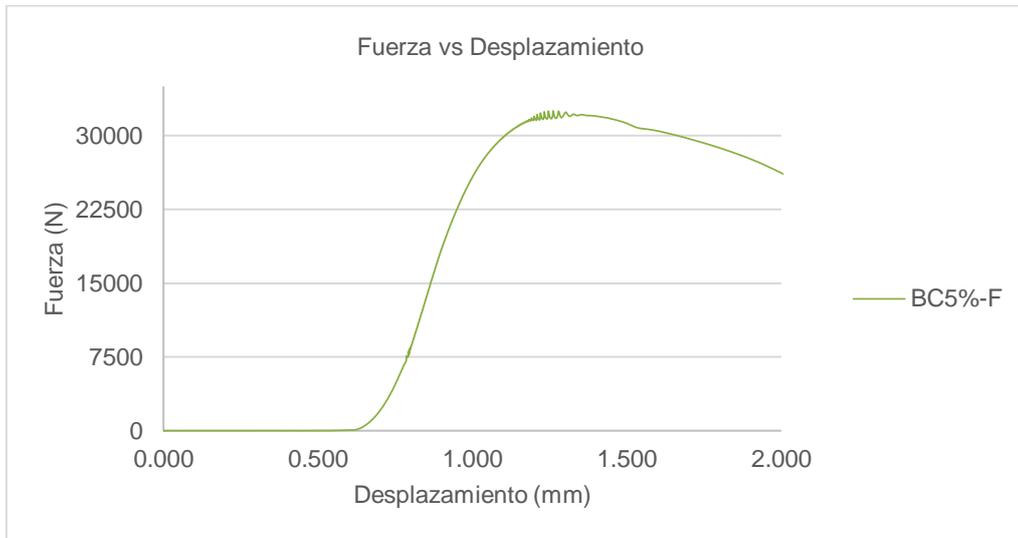
7días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	BC-A	34714	2594	13.4
	BC-B	36563	2613	14.0
	BC-C	32167	2598	12.4
	Promedio			13.3

28días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	BC-D	44604	2621	17.0
	BC-E	44110	2620	16.8
	BC-F	46312	2647	17.5
	Promedio			17.1

BC 5%







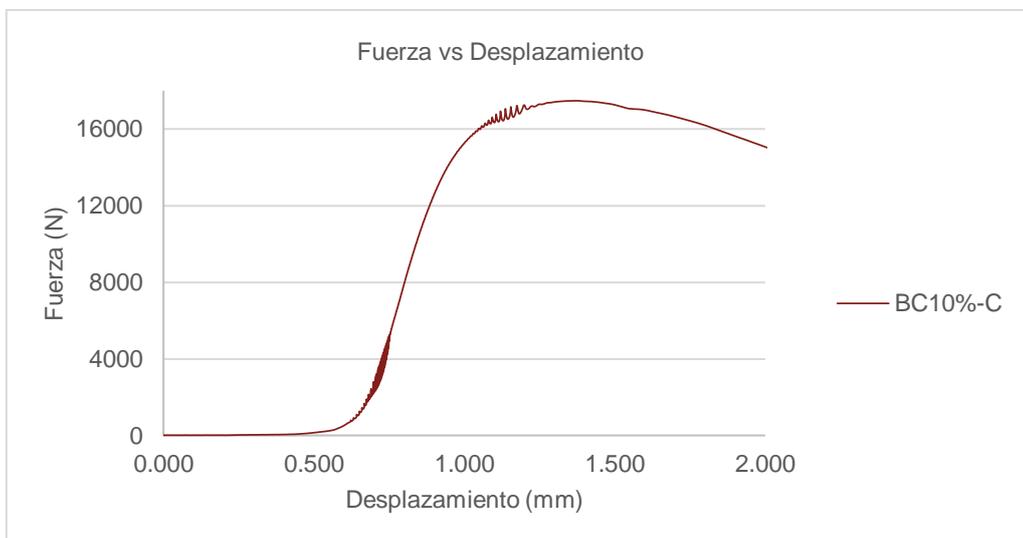
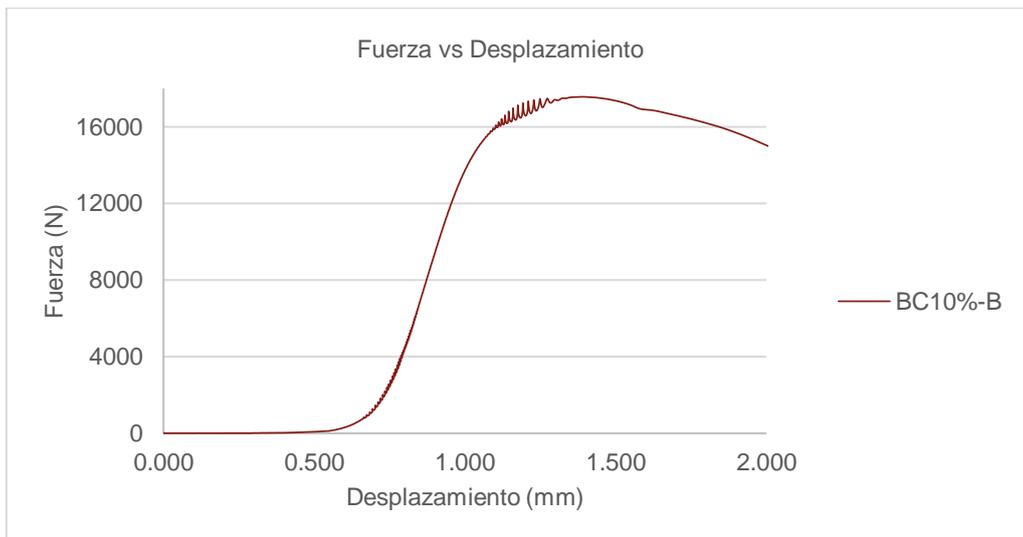
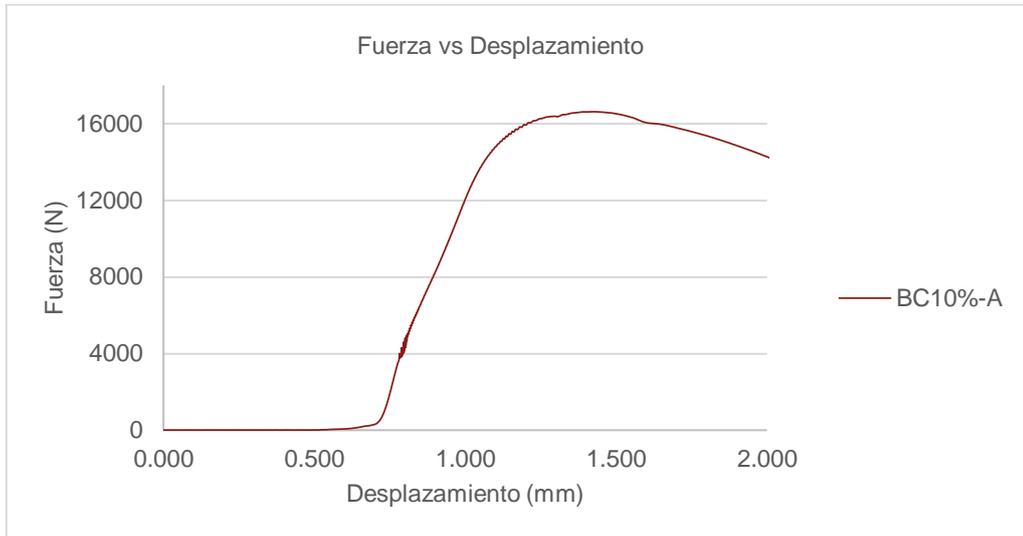
7días

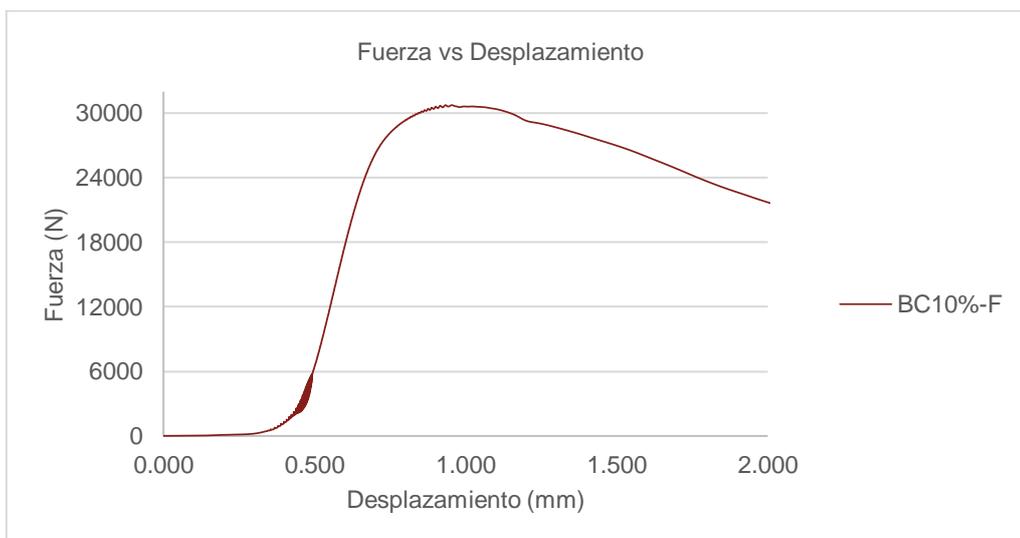
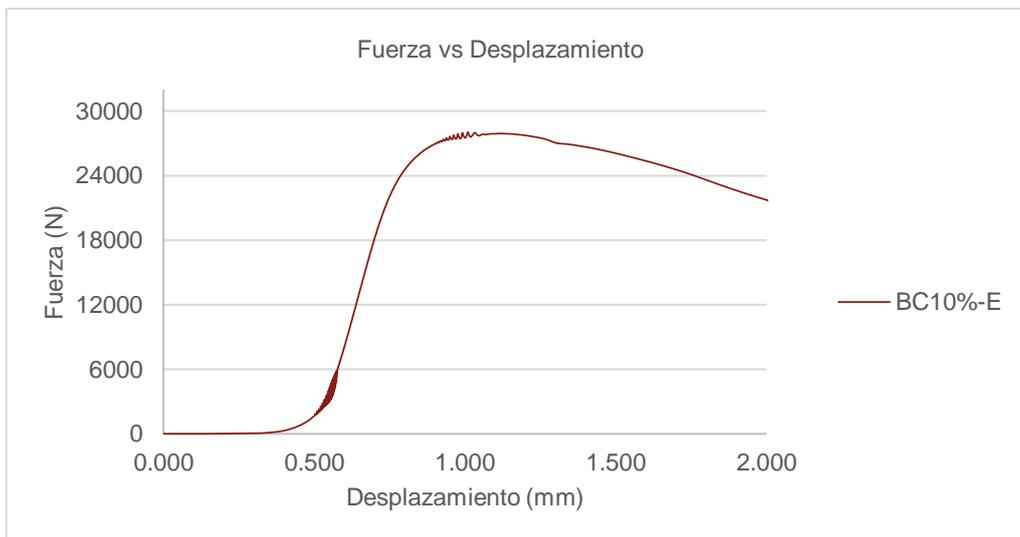
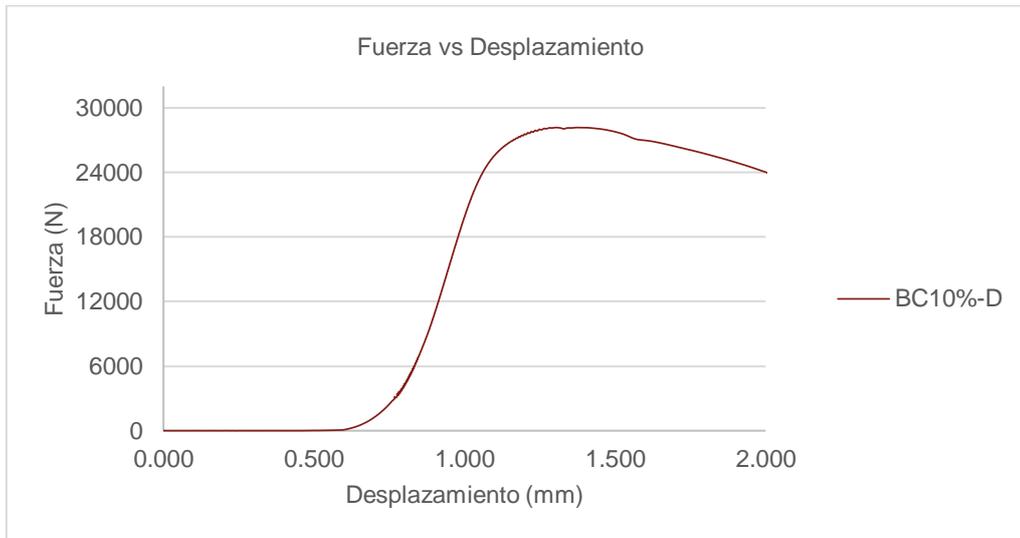
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
BC5%-A	21622	2598	8.3
BC5%-B	21912	2579	8.5
BC5%-C	20514	2594	7.9
Promedio			8.2

28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
BC5%-D	30865	2603	11.9
BC5%-E	34995	2606	13.4
BC5%-F	32505	2599	12.5
Promedio			12.6

BC 10%

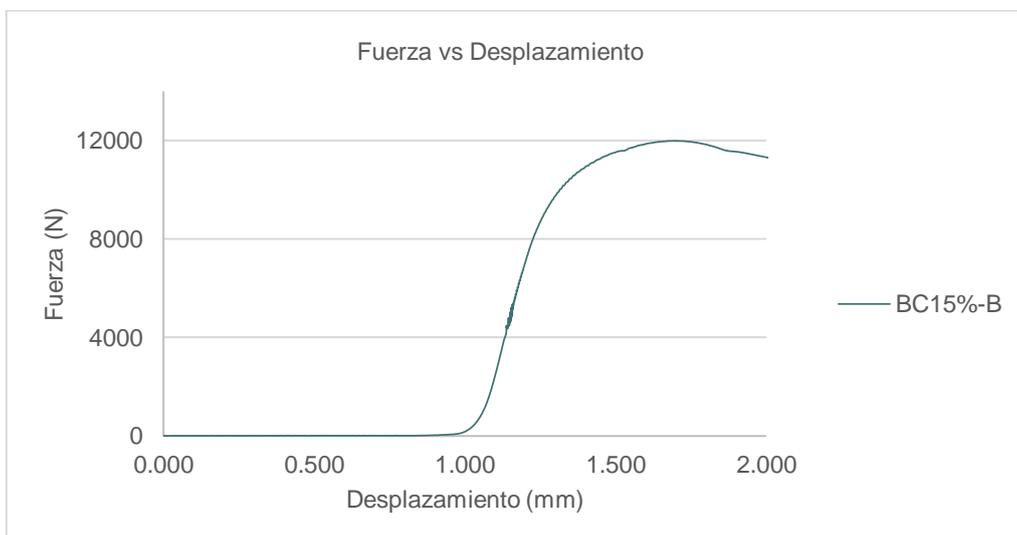
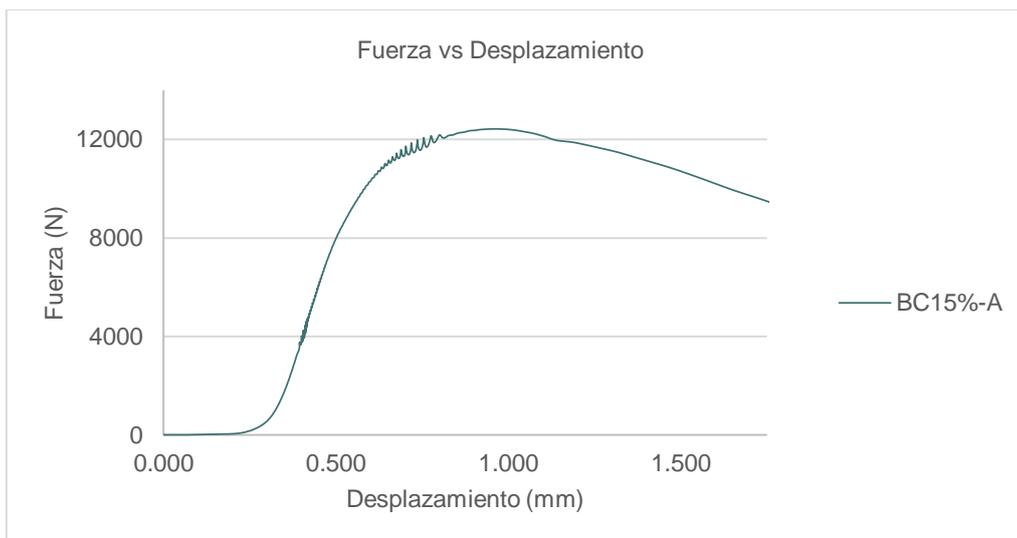


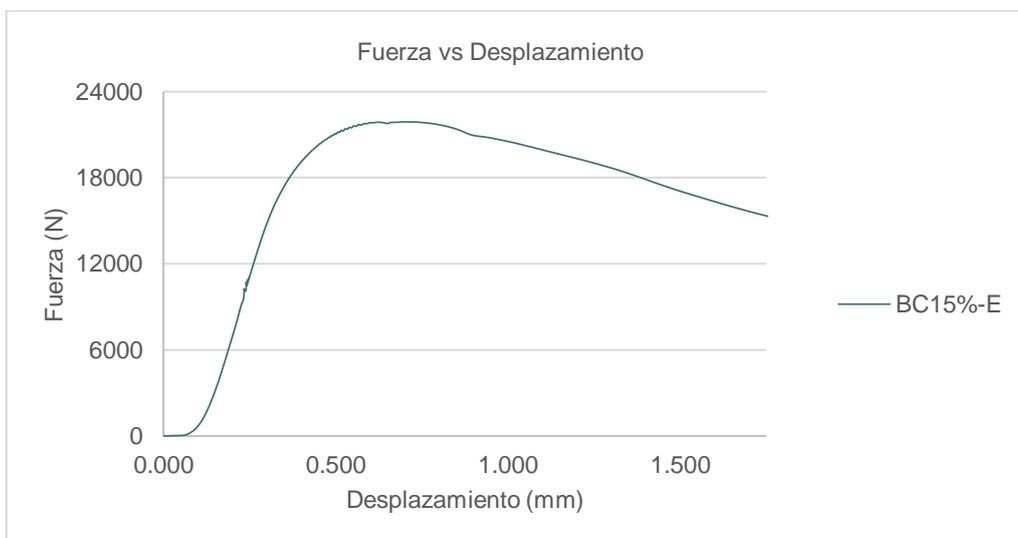
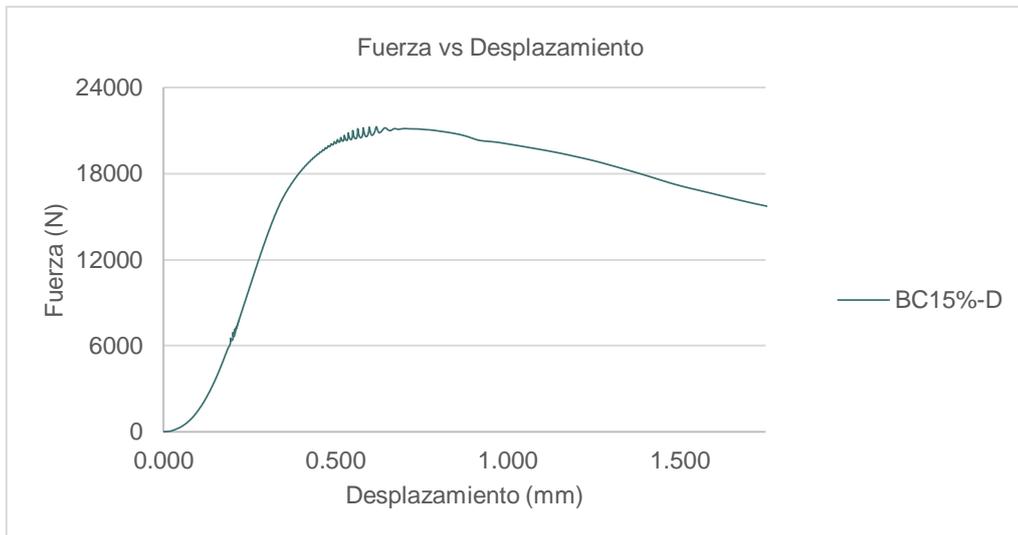
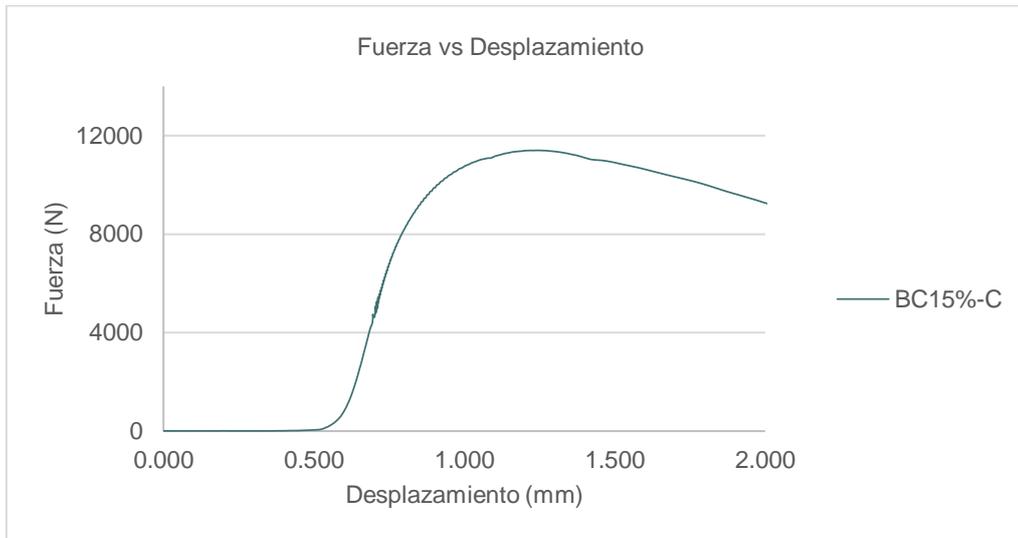


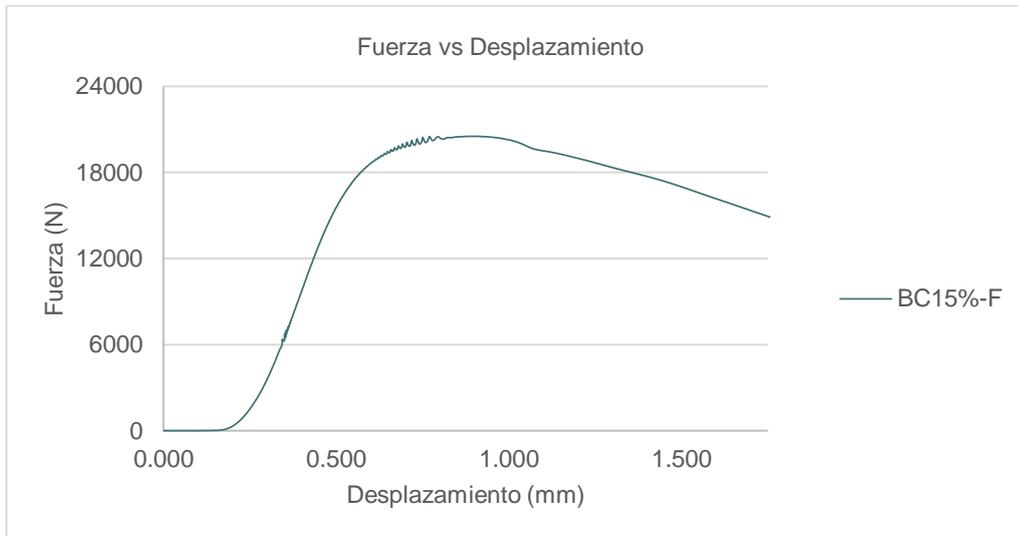
7días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	BC10%-A	16626	2579	6.4
	BC10%-B	17569	2579	6.8
	BC10%-C	17474	2576	6.8
	Promedio			6.7

28días	Muestra	Fuerza	A	Resistencia
		N	mm2	Mpa
	BC10%-D	28172	2633	10.7
	BC10%-E	28036	2618	10.7
	BC10%-F	30744	2635	11.7
	Promedio			11.0

BC 15%







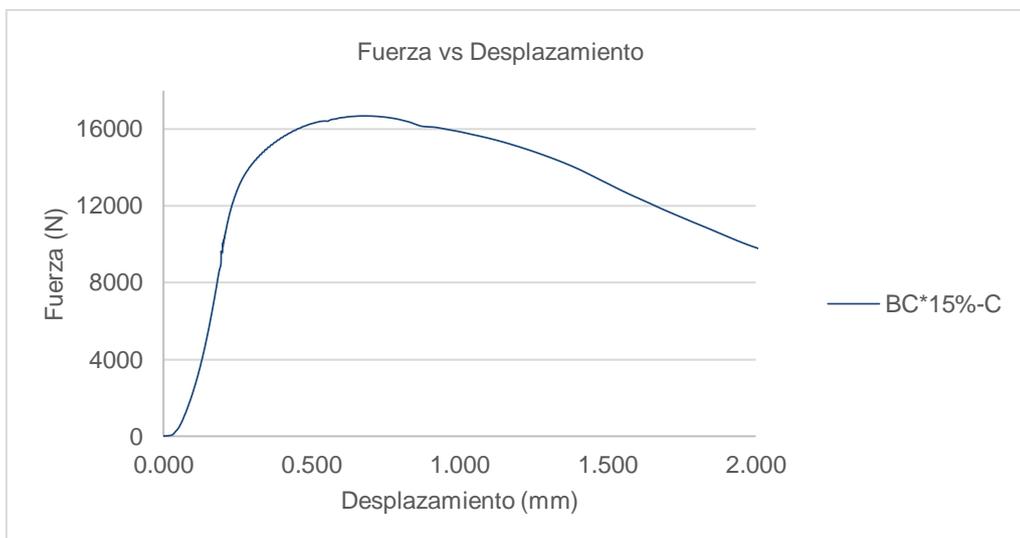
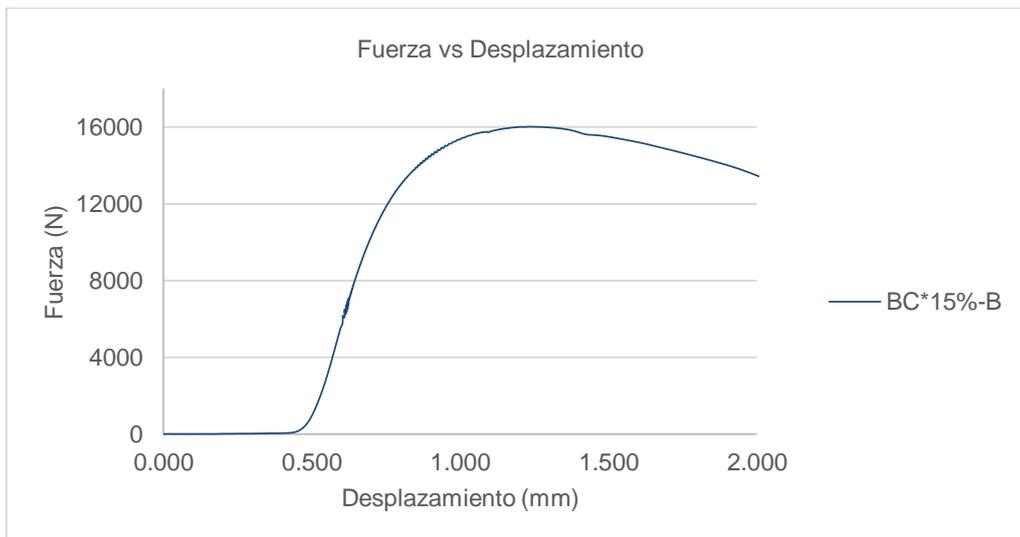
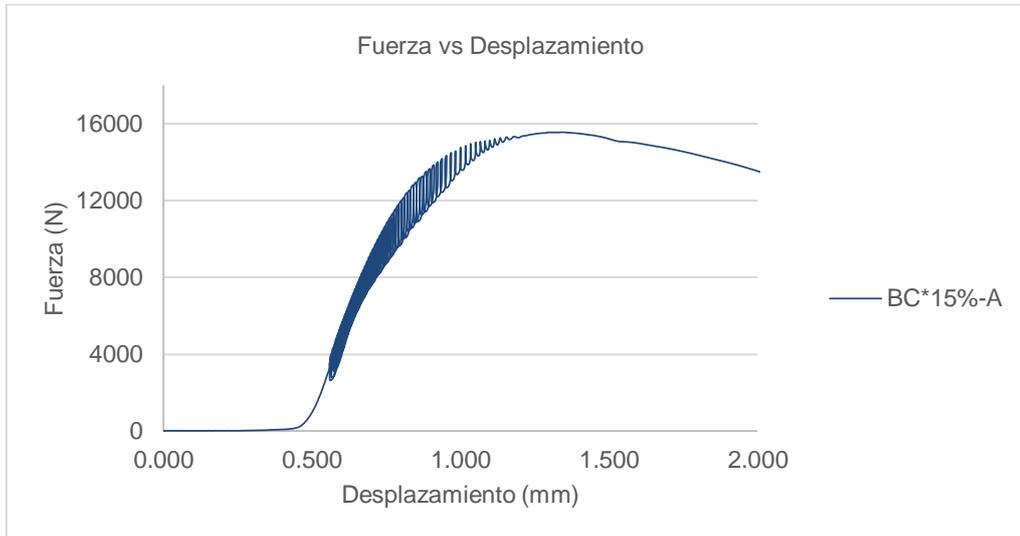
7días

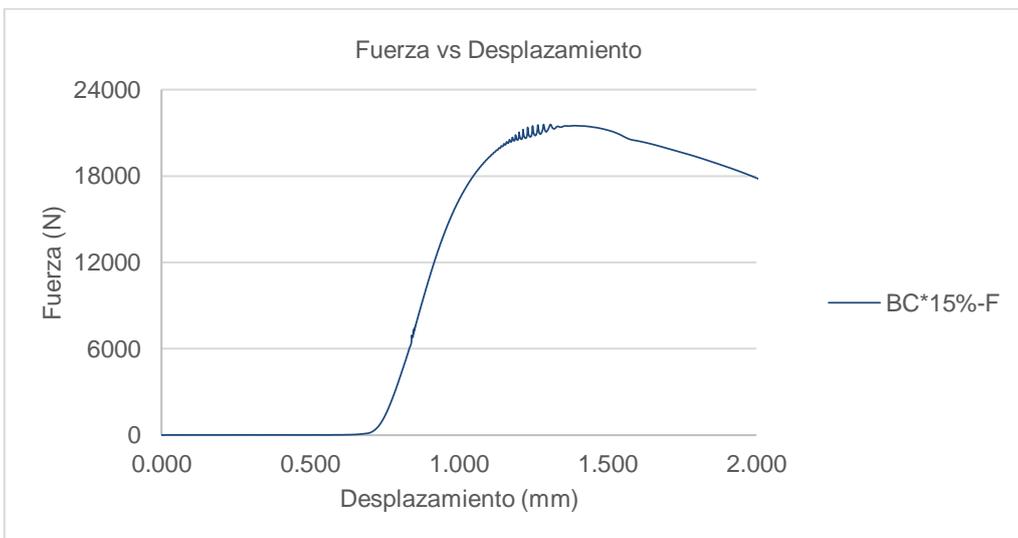
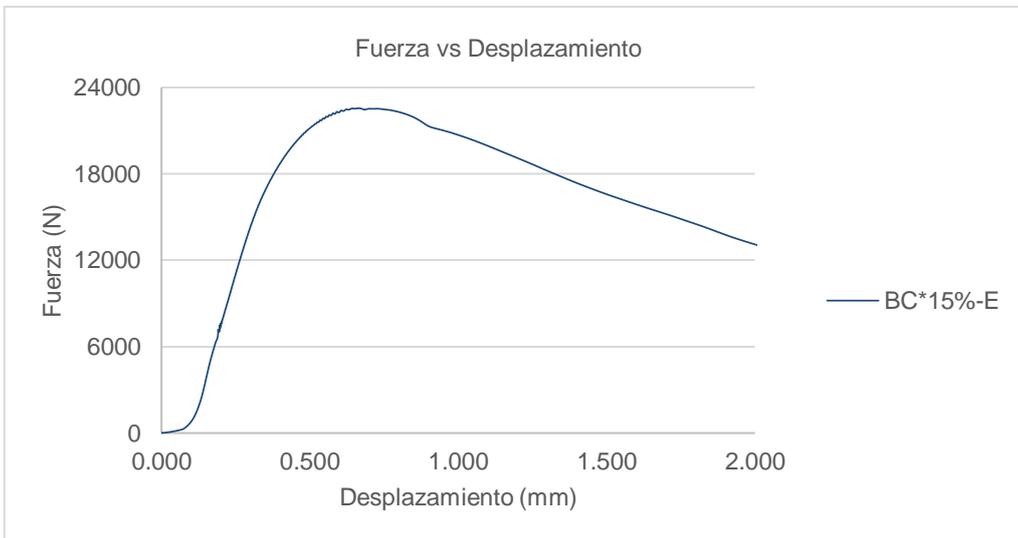
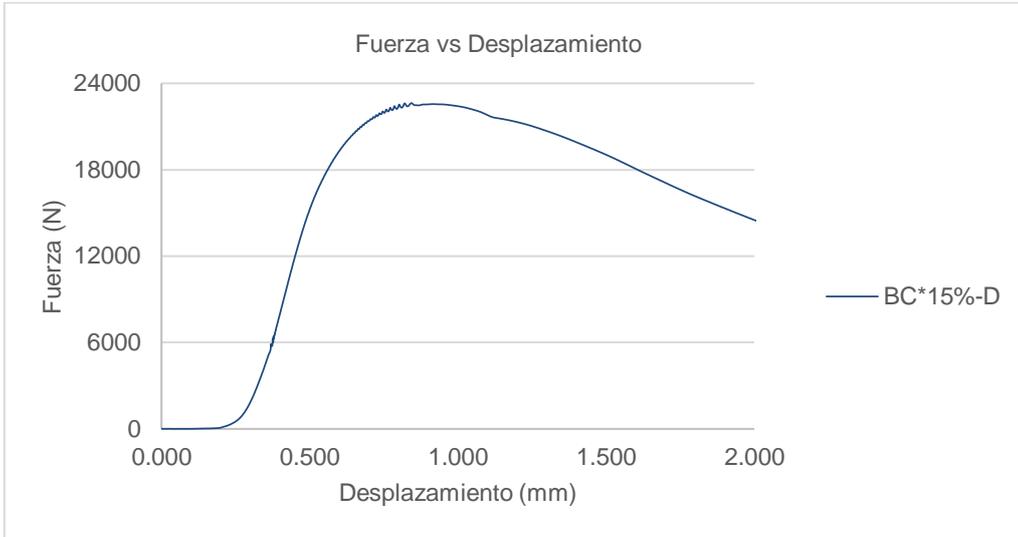
Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
BC15%-A	12424	2579	4.8
BC15%-B	11985	2579	4.6
BC15%-C	11400	2576	4.4
Promedio			4.6

28días

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm ²	Mpa
BC15%-D	21262	2552	8.3
BC15%-E	21892	2577	8.5
BC15%-F	20519	2587	7.9
Promedio			8.3

BC* 15%





7dias

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
BC*15%-A	15562	2621	5.9
BC*15%-B	16013	2631	6.1
BC*15%-C	16684	2606	6.4
Promedio			6.1

28dias

Muestra	Fuerza	A	Resistencia
	N	mm2	Mpa
BC*15%-D	22628	2616	8.6
BC*15%-E	22556	2623	8.6
BC*15%-F	21577	2615	8.3
Promedio			8.5

APUS

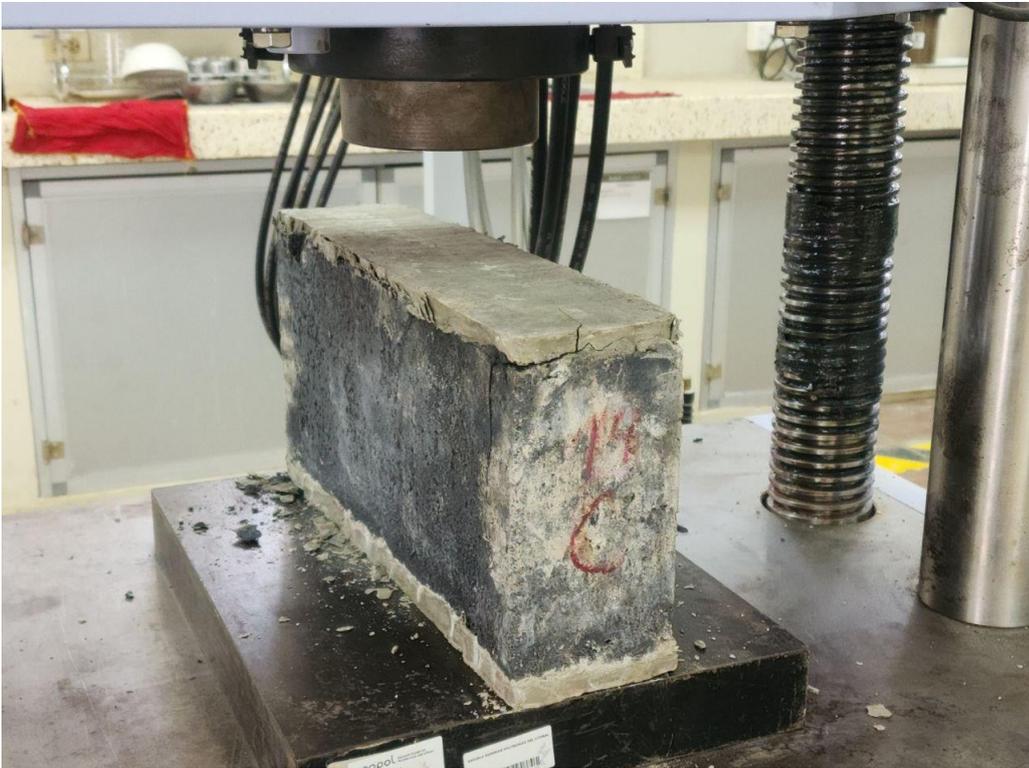
BLOQUE CON 0% CBCA					
UNIDAD: BLOQUE					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES % M.O.		5.00%			0.02
SUBTOTAL M					0.02
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D=C*R
PEÓN (ESTRUC. OCUP. E2)	1.00	4.05	4.05	0.013	0.05
SUBTOTAL N					0.05
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
CEMENTO	KG	2.09	0.17	0.35	
ARENA	KG	10.46	0.03	0.29	
AGUA	M3	0.00	0.05	0.00	
CBCA	KG	1.26	0.00	0.00	
SUBTOTAL O					0.64
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.71
VALOR OFERTADO					0.71

BLOQUE CON 15% CBCA					
UNIDAD: BLOQUE					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES % M.O.		5.00%			0.02
SUBTOTAL M					0.02
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C= A*B	R	D=C*R
PEÓN (ESTRUC. OCUP. E2)	1.00	4.05	4.05	0.013	0.05
SUBTOTAL N					0.05
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
CEMENTO	KG	2.09	0.17	0.35	
ARENA	KG	7.11	0.03	0.20	
AGUA	M3	0.00	0.05	0.00	
CBCA	KG	1.26	0.00	0.00	
SUBTOTAL O					0.55
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.62
VALOR OFERTADO					0.62





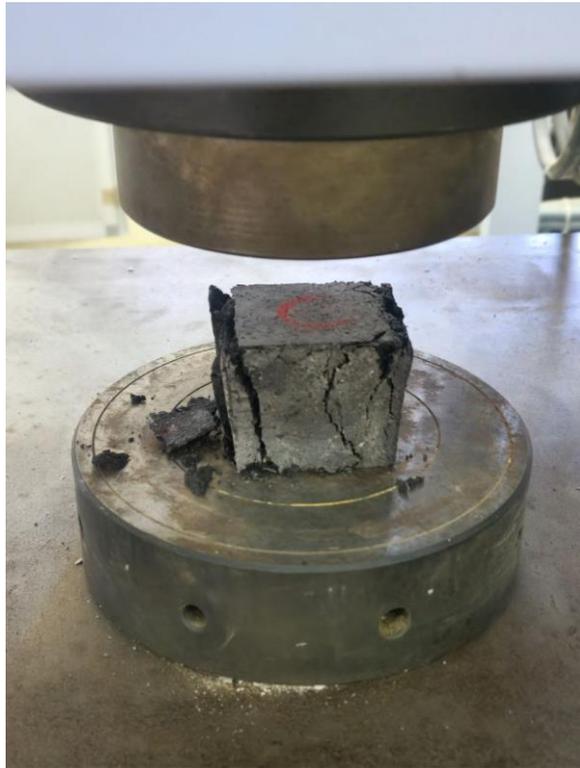




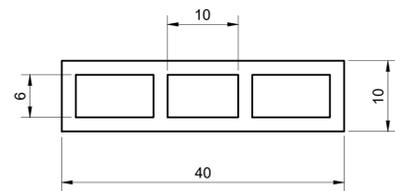




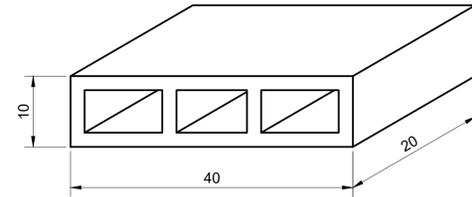




BLOQUE DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL



VISTA SUPERIOR



3D

ESCALA 2:1

REQUISITOS SEGÚN NTE INEN 3066 PARA BLOQUES CLASE B (MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL)

Materiales

Cemento hidráulico: Debe cumplir con la norma NTE INEN 490, NTE INEN 2380 o NTE INEN 152.
 Áridos finos y gruesos: Debe cumplir con la norma NTE INEN 872 y con los requerimientos establecidos en los diseños de mezcla.
 Agua: Debe ser potable, libre de materiales nocivos.

Dimensiones

Largo: 400 mm
 Ancho: 200 mm
 Altura: 100 mm
 La tolerancia máxima para largo, ancho y altura reales, debe ser ± 3 mm, de las respectivas medidas nominales.
 El espesor mínimo de las paredes y tabiques debe ser de 13 mm para los bloques Clases B y C.

Aspectos visuales y marcas

Los bloques deben presentar la misma apariencia (forma, textura y tonalidad) de aquellos que fueron presentados como muestra referencial por el fabricante, previo a la compra.
 El lote de bloques, a la entrega, no debe presentar más del 5% de unidades que tengan uno o más de los siguientes defectos:

- Dimensiones reales por fuera de las dimensiones nominales.
- Despostillados de diámetro mayor a 25 mm en las caras del bloque.
- Fisuras con un ancho mayor a 0.5 mm y longitudinales mayores a 25% de la altura modular en las caras del bloque.
- Unidades rotas.

Absorción de agua

Para el ensayo de absorción se requiere, por lote, una muestra compuesta por tres bloques enteros sin defectos.

Resistencia a la compresión simple

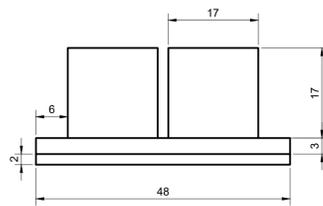
La resistencia mínima a la compresión simple de un bloque de hormigón Clase B es de 3.5 MPa, y para un promedio de tres bloques es de 4.0 MPa.

Resistencia al fuego

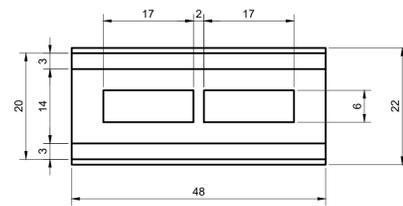
Las mamposterías construidas con bloques Clase B deben cumplir con la resistencia al fuego especificada en el diseño, aplicando el método de ensayo en ASTM E119 y/o ACCI 216.1.

MOLDE DE MADERA PARA BLOQUE (40x10x20) cm

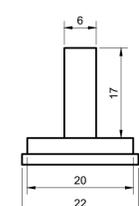
PIEZA 1



VISTA FRONTAL

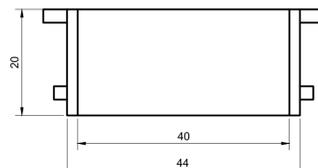


VISTA SUPERIOR

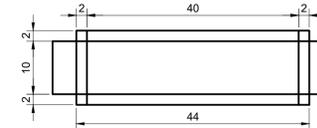


VISTA LATERAL

PIEZA 2

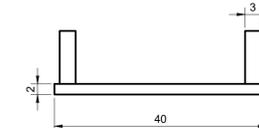


VISTA FRONTAL

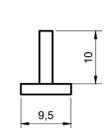


VISTA SUPERIOR

PIEZA 3



VISTA FRONTAL

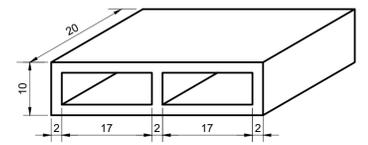
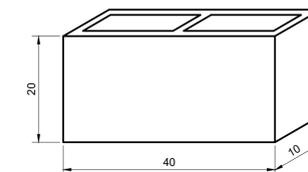


VISTA LATERAL

ESCALA 1.5:1

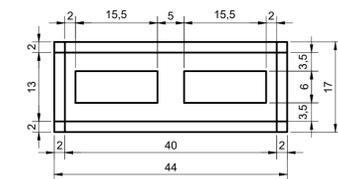
BLOQUE RESULTANTE - MOLDE DE MADERA

ESCALA 1.5:1



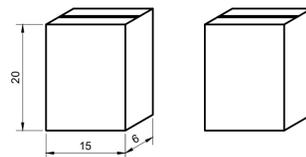
MOLDE METÁLICO PARA BLOQUE (40x10x20) cm

PIEZA 1 - BASE

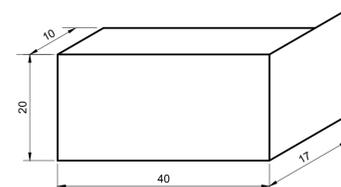


ESCALA 1.5:1

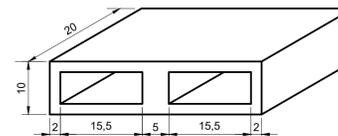
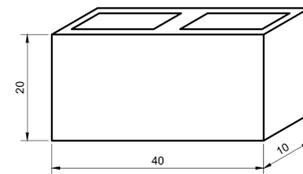
PIEZA 2 - ORIFICIOS



PIEZA 3 - CONTORNO



BLOQUE RESULTANTE



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO: Diseño de la mezcla de bloques sostenibles utilizando residuos de caña de azúcar y su implementación en proyectos residenciales

Contenido: Planos de detalle

Coordinador de Materia Integradora: Ph.D Andres Danilo Velastegui Montoya	Tutor de Conocimientos: MSc. Samantha Hidalgo Astudillo	Estudiantes: Nathalia Romina Aguirre Aguilar Jean Alexander Zurita Salazar	Fecha de emisión: 1/8/2023
Tutor de Materia Integradora: MSc. Ingrid Tatiana Orta Zambrano	Lámina: 1/1	Escala: Indicadas	