



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

“Valoración de la resistencia a la compresión simple de bloques fabricados con mineral zeolita, como sustituto de material de construcción”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN MINAS

Autora:

THALÍA ALEXANDRA MORA CABRERA

Director:

ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA – ECUADOR

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedicó a mi amada abuela Lolita, quien no está presente físicamente, pero es mi inspiración y mi fortaleza en cada momento de mi vida.

A mis padres Elidío y Lucía, gracias por cuidarme, guiarme e inculcarme valores fundamentales para ser mejor persona y ser fuerte ante las adversidades de la vida.

A mis hermanos Janneth, César, y Juan Carlos, por estar a mi lado en esta etapa universitaria apoyándome para cumplir con las metas que me he propuesto.

A mi sobrino David, por ofrecerme momentos de felicidad y amor.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es a Dios, por permitirme estar viva y, concederme la fortaleza para seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi hermano César, por acompañarme a lo largo de esta etapa universitaria compartiéndome sus conocimientos y por haberme impulsado a superarme cada día.

Mi agradecimiento de manera especial al Ing. Patricio Feijoo, por brindarme su tiempo, su paciencia, por compartir su experiencia desarrollada a través de los años en resistencia de materiales y ofrecerme la oportunidad de realizar este trabajo de titulación con su guía y conocimiento para cumplirlo de la mejor manera.

Al Ing. Leonardo Núñez, gracias por compartir sus conocimientos en clases, ser un buen profesor y un ejemplo a seguir.

Al Ing. Eduardo Luna, mi agradecimiento por sus enseñanzas en clases y por su apoyo en la utilización de equipos de laboratorio para realizar esta tesis.

Al Ing. Esteban Ludizaca, por su apoyo en la realización de esta tesis.

A mi mejor amiga Yadira, gracias por ser incondicional, por tus consejos, por tu apoyo y por ser una gran persona con la que compartí muchos momentos de alegría.

Gracias a mis amigas, amigos y compañeros que hicieron esta etapa universitaria una de las mejores de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	2
MARCO TEÓRICO	2
1.1. Zeolitas	2
1.1.1. Génesis de la zeolita.....	2
1.1.2. Estructura de las zeolitas.....	3
1.1.3. Principales tipos las zeolitas.....	4
1.1.4. Propiedades físicas de las zeolitas.....	5
1.1.5. Propiedades químicas de las zeolitas	5
1.1.5.1 Porosidad.....	5
1.1.5.2. Adsorción	5
1.1.5.3. Intercambio iónico.....	6
1.1.5.4. Deshidratación e hidratación.....	6
1.1.6. La zeolita utilizada como material de construcción.....	7
1.1.7. Otras aplicaciones de la zeolita	7
1.1.8. Las zeolitas en el Ecuador.....	8
1.2. Cemento.....	9
1.2.1. Compuestos químicos del cemento.....	9
1.2.2. Hidratación del cemento	10
1.2.2.1. Hidratación del cemento a los 7 días	10
1.2.2.2. Hidratación del cemento a los 28 días	11
1.3. Agregados finos.....	12
1.4. Agua	13

1.5.	Bloques de concreto para construcción	13
1.5.1.	Elaboración de bloques de concreto.....	13
1.5.2.	Clasificación de bloques de concreto.....	15
1.5.3.	Densidad de los bloques de concreto	15
1.5.4.	Propiedades mecánicas de los bloques de concreto	16
1.5.5.	Geometría de los bloques de concreto	16
1.6.	Morteros	17
1.6.1.	Dosificación de morteros y usos	17
1.6.2.	Clasificación de los morteros	18
1.6.3.	Propiedades de los morteros en estado plástico	18
1.6.4.	Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	19
1.7.	Resistencia a la compresión simple.....	19
CAPÍTULO 2.....		21
METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL		21
2.1.	Caracterización de los materiales	21
2.1.1.	Zeolita	21
2.1.2.	Cemento	22
2.1.3.	Arena.....	23
2.2.	Dosificación para elaborar los bloques de cemento	23
2.2.1.	Dosificación 1:2 para 10 bloques.....	24
2.2.2.	Dosificación 1:3 para 10 bloques.....	24
2.2.3.	Dosificación 1:4 para 10 bloques.....	25
2.3.	Dosificación para elaborar los bloques de cemento-zeolita	26
2.3.1.	Dosificación 1:2 para 10 bloques.....	26
2.3.2.	Dosificación 1:3 para 10 bloques.....	27
2.3.3.	Dosificación 1:4 para 10 bloques.....	28
2.4.	Descripción del proceso para la elaboración de los bloques	28
2.4.1.	Procedimiento para la elaboración de los bloques	29
2.5.	Ensayo de resistencia a la compresión simple en los bloques.....	36
2.5.1.	Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión simple.....	36
CAPÍTULO 3.....		40
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		40
3.1.	Resultados de la resistencia a la compresión simple de bloques de cemento ..	40

3.2. Resultados de resistencia a la compresión simple de bloques de cemento-zeolita	45
3.3. Comparación entre los pesos de los bloques de cemento y zeolita	49
3.4. Comparación entre la RCS de los bloques de cemento y zeolita	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
Conclusiones	54
Recomendaciones	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Yacimiento de zeolitas de Loma Blanca, San Andrés, provincia Holguín, país Cuba.	3
Figura 1.2. Unidades estructurales básicas de las zeolitas.	4
Figura 1.3. Ubicación de la cordillera Chongón Colonche.	9
Figura 1.4. Comportamiento del cemento a los 7 días.	11
Figura 1.5. Comportamiento del cemento a los 28 días.	12
Figura 1.6. Tipos de bloques de concreto.	13
Figura 1.7. Mezcladora para fabricar bloques.	14
Figura 1.8. Máquinas para el moldeado de bloques.	14
Figura 1.9. Tipos de bloques huecos.	16
Figura 1.10. Bloque multicámara.	17
Figura 1.11. Prensa Humboldt.	20
Figura 2.1. Cemento Holcim tipo GU.	22
Figura 2.2. Especificaciones técnicas del cemento Holcim tipo GU.	23
Figura 2.3. Secado de la arena a 100 °C.	30
Figura 2.4. Tamizado de la arena.	30
Figura 2.5. Peso de la zeolita.	31
Figura 2.6. Colocación del desmoldante.	31
Figura 2.7. Mezclado de los materiales.	32
Figura 2.8. Compactación manual de la mezcla.	33
Figura 2.9. Uso de la espátula para aplanar la cara expuesta de los bloques.	33
Figura 2.10. Fraguado inicial.	34
Figura 2.11. Desencofrado de los moldes.	34
Figura 2.12. Numeración de muestras.	35
Figura 2.13. Bloques sumergidos en agua.	35
Figura 2.14. Peso de la muestra 11.	37
Figura 2.15. Medición de muestras con el pie de rey.	37
Figura 2.16. Muestra 4 colocada en la prensa hidráulica Humboldt.	38
Figura 2.17. Rotura de la muestra 4 después de soportar la carga ejercida por la prensa hidráulica Humboldt.	38
Figura 2.18. Resultados obtenidos luego de la rotura de la probeta.	39
Figura 3.1. RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.	41

Figura 3.2. RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.....	42
Figura 3.3. RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.....	44
Figura 3.4. RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.....	45
Figura 3.5. RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.....	47
Figura 3.6. RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.....	48
Figura 3.7. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:2.....	49
Figura 3.8. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:3.....	50
Figura 3.9. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:4.....	50
Figura 3.10. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:2.....	51
Figura 3.11. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:3.....	52
Figura 3.12. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:4.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Principales tipos de zeolitas naturales.....	4
Tabla 1.2. Propiedades físicas generales de las zeolitas.....	5
Tabla 1.3. Óxidos que constituyen el cemento Portland.....	10
Tabla 1.4. Tabla de clasificación y usos de bloques de concreto.....	15
Tabla 1.5. Resistencia a la compresión simple, en bloques no soportantes.....	16
Tabla 1.6. Resistencia a la compresión simple, en bloques soportantes.....	16
Tabla 1.7. Usos de los morteros de cemento.....	18
Tabla 2.1. Características físicas de la zeolita de tipo clinoptilolita.....	21
Tabla 2.2. Características químicas de la zeolita tipo clinoptilolita.....	22
Tabla 2.3. Dosificación 1:2 cemento, arena y agua.....	24
Tabla 2.4. Dosificación 1:3 cemento, arena y agua.....	25
Tabla 2.5. Dosificación 1:4 cemento, arena y agua.....	25
Tabla 2.6. Dosificación 1:2 zeolita, cemento, arena y agua.....	26
Tabla 2.7. Dosificación 1:3 zeolita, cemento, arena y agua.....	27
Tabla 2.8. Dosificación 1:4 zeolita, cemento, arena y agua.....	28
Tabla 3.1. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.....	40
Tabla 3.2. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.....	41
Tabla 3.3. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.....	42
Tabla 3.4. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.....	43
Tabla 3.5. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.....	43
Tabla 3.6. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.....	44
Tabla 3.7. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.....	45
Tabla 3.8. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.....	46
Tabla 3.9. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.....	46
Tabla 3.10. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.....	47
Tabla 3.11. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.....	48
Tabla 3.12. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

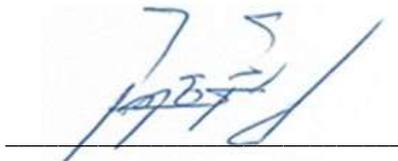
Anexo 1. Peso de la zeolita.	59
Anexo 2. Peso de la arena.	59
Anexo 3. Dosificación 1:3: arena, cemento y agua.....	59
Anexo 4. Mezcla de la dosificación 1:2 de cemento, zeolita y agua.	60
Anexo 5. Colocación de la mezcla en los moldes.	60
Anexo 6. Desencofrado de los moldes y obtención del bloque.	60
Anexo 7. Numeración de las muestras.....	61
Anexo 8. Curado de las muestras de dosificación 1:3: zeolita, cemento, arena y agua..	61
Anexo 9. Muestras de dosificación 1:3: zeolita, cemento, arena y agua.	61
Anexo 10. Peso de la muestra de dosificación 1:4: zeolita, cemento, arena y agua.	62
Anexo 11. Ensayo de la resistencia a la compresión simple de la muestra 1.	62
Anexo 12. Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión simple de la muestra 1.....	63

“VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE BLOQUES FABRICADOS CON MINERAL ZEOLITA, COMO SUSTITUTO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN”

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar el uso del mineral zeolita, como sustituto parcial del cemento, mediante la elaboración de mezclas de cemento y zeolita considerando dosificaciones de 1:2, 1:3, 1:4, y de esta manera, elaborar un total de 30 muestras que contienen cemento-arena-agua, para compararlos con una mezcla que emplea dichos materiales reemplazando 50% de cemento por zeolita, generando 30 muestras adicionales. Luego de 28 días de curado de las muestras, se desarrollaron los ensayos de resistencia a la compresión simple, determinando que las muestras con zeolita de proporción 1:2 presentan una resistencia media de 1.87 MPa, comparado con las muestras de cemento de proporción 1:3 con una resistencia media de 4,73 MPa y la proporción 1:4 con resistencia media de 1.68 MPa, derivando en posibles aplicaciones para mampostería, ornamentación y acabados de construcción.

Palabras clave: bloques, cemento, granulometría, resistencia a la compresión, zeolita.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Thalía Alexandra Mora Cabrera

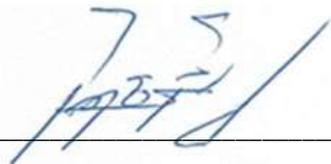
Autora

**“ASSESSMENT OF THE RESISTANCE TO SIMPLE COMPRESSION OF
BLOCKS MADE WITH ZEOLITE MINERAL, AS A SUBSTITUTE FOR
CONSTRUCTION MATERIAL”**

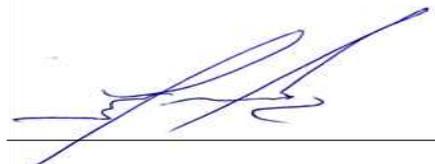
ABSTRACT

The main objective of this investigation was to determine the use of the mineral zeolite, as a partial substitute for cement, through the elaboration of cement and zeolite mixtures considering dosages of 1:2, 1:3, 1:4, and in this way, to elaborate a total of 30 samples containing cement-sand-water, to compare them with a mixture that uses materials replacing 50% of cement by zeolite, resulting in 30 additional samples. After 28 days of curing the samples, the simple compression resistance tests were carried out, determining that the samples with zeolite with a 1:2 ratio have an average resistance of 1.87 MPa, compared to the cement samples with a ratio of 1:3 with an average resistance of 4.73 MPa and the ratio 1:4 with an average resistance of 1.68 MPa, leading to possible applications for masonry, ornamentation and construction finishes.

Key words: block, cement, granulometry, compressive strength, zeolite.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle
Director of the Degree Project



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinator of the School



Thalía Alexandra Mora Cabrera

Author



Language department

Translated by



Thalía Mora

Thalía Alexandra Mora Cabrera

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Marzo, 2023

“VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE BLOQUES FABRICADOS CON MINERAL ZEOLITA, COMO SUSTITUTO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN”

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador los materiales de construcción son costosos y tienden a agotarse rápidamente, esto ha generado la inquietud de buscar soluciones ante esta situación con el fin de utilizar materiales que sean sostenible con el tiempo.

A lo largo de los últimos años se han realizado estudios más a fondo sobre las características de las zeolitas en varias industrias y una de ellas es la industria de la construcción. En el siguiente trabajo de titulación se realizó la valoración de la resistencia a la compresión simple de bloques fabricados con mineral zeolita, como sustituto de material de construcción.

Para cumplir con el objetivo propuesto, fue indispensable realizar la preparación de los materiales para realizar las mezclas los bloques, buscar la granulometría adecuada de cada material, además de la cantidad ideal de cada material, condiciones ambientales, tiempo de fraguado, etc., realizando el procedimiento tanto para el uso de la zeolita como bloques elaborados netamente a base de cemento para proceder a calcular la resistencia a la compresión simple de los bloques, posteriormente se analizaron los datos obtenidos y de esta manera, se determinó que la zeolita si puede ser utilizada como un sustituto de materiales de construcción.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Zeolitas

Este término tiene procedencia del griego *zéo* y *líthos*, que significa de roca efervescente. En 1756, se descubrió el primer tipo de zeolita denominado stilbita por el sueco Barón Alex Frederick Consted (Curi *et al.*, 2006).

Son minerales aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalinos terrosos, en los cuales los principales elementos que lo constituyen son el sodio y potasio, que permiten a las zeolitas poseer características importantes debido a su estructura molecular micro porosa que le permite adsorber otras sustancias y, poseen la propiedad del intercambio iónico (Curi *et al.*, 2006).

1.1.1. Génesis de la zeolita

Son rocas sedimentarias que se forman a través de procesos de precipitación de fluidos contenidos en poros, siendo las zeolitas el resultado de un proceso hidro-termal o variaciones de vidrios volcánicos (Curi *et al.*, 2006).

Las especies de zeolita (alrededor de 40), se forman bajo condiciones favorables de presión, temperatura, actividad molecular de especies iónicas y de la presión del agua conforme al entorno donde se desarrolla. De manera general, se puede mencionar que las zeolitas se encuentran en seis ambientes geológicos: lagos alcalinos, suelos alcalinos, diagenético, sistema abierto, hidrotermal y sedimentos marinos (Curi *et al.*, 2006).

Según su geología, mineralogía y génesis, son clasificadas en los siguientes tipos:

- **Sistemas cerrados:** Yacimientos minerales formados por material volcánico en sistemas hidrológicamente cerrados.

- **Sistemas abiertos:** Yacimientos minerales formados en sistemas hidrológicamente abiertos.
- **Metamórficos boreales:** Yacimientos minerales formados por bajo grado de metamorfismo boreal.
- **Hidrotermales:** Yacimientos minerales formados por sistemas hidrotermales por actividad de brotes calientes.
- **Marítimos profundos:** Yacimientos minerales formados por un medio marítimo profundo (Servin R., s.f.).



Figura 1.1. Yacimiento de zeolitas de Loma Blanca, San Andrés, provincia Holguín, país Cuba.

Fuente: (Mustelier, Sánchez , & Velázquez, 2018).

1.1.2. Estructura de las zeolitas

“Poseen redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo TO_4 ($T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co$) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno” (Curi *et al.*, 2006, p.111-118).

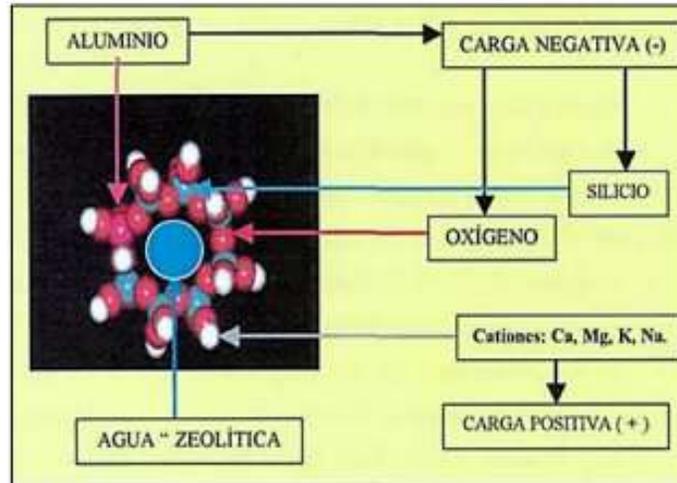


Figura 1.2. Unidades estructurales básicas de las zeolitas.

Fuente: (Morante Carballo, 2004).

1.1.3. Principales tipos las zeolitas

Tabla 1.1. Principales tipos de zeolitas naturales.

Zeolitas	Formula Química
Laumontita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Na Ca}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Phillipsita	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_{1-2} (\text{Si}, \text{Al})_8 \cdot \text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Chabazita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Thomsonita	$\text{Na Ca}_2\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Mordenita	$(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2) \text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Epistilbita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Analcima	$\text{Na}, \text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Fuente: (Curi *et al*, 2006).

1.1.4. Propiedades físicas de las zeolitas

Tabla 1.2. Propiedades físicas generales de las zeolitas.

Propiedades físicas generales de las zeolitas	
Dureza	3 - 4
Estabilidad térmica	Alta
Color	Blanca o verde
Densidad	2 a 2,3 g/cm ³
Diámetro del poro	2 a 12 angstroms
Diámetro de cavidades	6 a 12 angstroms

Fuente: (Garcés M, s.f.).

1.1.5. Propiedades químicas de las zeolitas

1.1.5.1 Porosidad

Tienen una estructura de micro poros, de esta manera, presentan una superficie interna de mayor tamaño que la superficie externa. Existen 3 tipos de poros; mayores a 50 nm son conocidos como macro poros, cuando el diámetro se encuentra entre 2 y 50 nm son mesoporos y si son menores a 2 nm se trata de micro poros (Curi *et al.*, 2006).

Si la distancia entre dos superficies es corta, los potenciales de absorción son mayores, haciendo que la molécula que se encuentra en el interior del poro este atraída por toda la superficie del poro y de esta manera aumenta la fuerza con la que se ve atraída (Curi *et al.*, 2006).

1.1.5.2 Adsorción

El potencial de adsorción que permite que exista una fuerza de atracción entre la molécula y la superficie. Si la separación de la molécula y la superficie disminuye la energía del sistema es menor. Las zeolitas tienen una amplia superficie interna que permite que

posean una alta eficiencia de adsorción y mientras menor es el tamaño del poro, mayor es el potencial de adsorción, de esta manera, la molécula adsorbida se mantiene confinada (Curi et al., 2006).

1.1.5.3. Intercambio iónico

Estos minerales poseen en su estructura cristalina átomos de silicio y son capaces de realizar una sustitución isomórfica por otros átomos. La zeolita posee esta propiedad intrínseca del intercambio iónico, debido a que, su estructura cristalina es micro porosa (Curi et al., 2006).

Según menciona Curi et al. (2006): El comportamiento de intercambio iónico de las zeolitas y su mayor selectividad a determinados cationes depende de algunos factores: naturaleza de los cationes en solución, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, solvente – agua, solvente orgánico, estructura de la zeolita y densidad de la carga de red (p.111-118).

La zeolita como mineral dentro de su consideración química posee una capacidad de intercambio iónico de gran medida, donde los cationes de otros compuestos pueden ser retenidos en el mineral, lo cual determina cómo se comporta con respecto a la unión con otros elementos, esto se debe principalmente a la presencia de aluminio dentro de su composición original y a la disposición de sus moléculas en su estructura química. (Curi et al., 2006).

1.1.5.4. Deshidratación e hidratación

Los procedimientos químicos de hidratación y deshidratación, pueden generar cambios al momento de reaccionar con la zeolita de manera directa, debido a su composición química del mineral, estos pueden generar reacciones de tipo exotérmica que conlleva a cambios conjuntamente con los materiales con los que se combinan, permitiendo que exista la disminución o aumento de su peso. (Servin R., s.f.).

1.1.6. La zeolita utilizada como material de construcción

Es utilizada en la industria de la construcción para elaborar hormigones ligeros y de alta calidad, principalmente es utilizada en China (Rodríguez, 2021).

Algunas características relevantes son:

- La resistencia a la compresión aumenta dependiendo de la cantidad que se utilice de zeolita.
- La permeabilidad es menor, por lo tanto, disminuye el ingreso de sulfatos o agentes externos que pueden perjudicar al hormigón.
- Mantiene la humedad del hormigón en el proceso de fraguado, de esta manera, mejora la absorción de las moléculas del cemento.
- Mejora la plasticidad y disminuye la segregación de los agregados.
- Aumenta la compacidad por que se añaden partículas finas que llenan los espacios huecos de la mezcla (Maldonado, 2021).

1.1.7. Otras aplicaciones de la zeolita

Absorbentes industriales: la zeolita es un mineral con una estructura granular químicamente estable y segura, por lo tanto, es ideal para ser utilizado como un absorbente de líquidos, grasas, aceites y vapores.

Residuos metálicos: absorbe metales como el Cs y Sr, aplicado en laboratorios.

Tratamiento del agua: empleada para tratar aguas contaminadas con metales pesados, limpieza de piscinas y utilizada como filtro.

Tratamiento de aguas residuales: la aplicación de la zeolita en este tratamiento permite extraer el amonio de los lodos, limpieza de lixiviados y aguas residuales de ciudad (Mejía, 2016).

1.1.8. Las zeolitas en el Ecuador

La geología del Ecuador está caracterizada por un extenso desarrollo de rocas volcánicas y volcanógeno-sedimentarias, tienen diferentes edades y de esta manera permiten que existan zeolitas formadas por la alteración del vidrio volcánico (Rodríguez, 2021).

Las muestras reunidas en la Serie Saraguro en un afloramiento antes de la población de Oña, cantón de la provincia del Azuay y la formación Cayo en las cercanías de la ciudad de Guayaquil, permitieron comprobar la presencia de tobas verdes zeolitizadas, las cuales posteriormente fueron examinadas por difracción de rayos X, demostrando que existe la presencia de dos tipos de zeolitas: clinoptilolita y mordenita (Rodríguez, 2021).

La figura 1.3. hace referencia a la cordillera Chongón-Colonche es una cadena montañosa que posee una extensión desde el oeste de Guayaquil hasta la línea costera de unos 100 kilómetros, por consiguiente, las investigaciones han descrito la presencia de zeolitas: en la parte central se encuentra secuencias de ignimbríticas, en la parte occidental la heulandita y la mordenita se encuentra en las tobas riolíticas y ciertas rocas sedimentarias. Los afloramientos de zeolita han permitido que existan canteras artesanales cerca de la cordillera, permitiendo, que la explotación y los usos de este mineral sea en la acuicultura y agricultura. (Medina *et al.*, 2022).

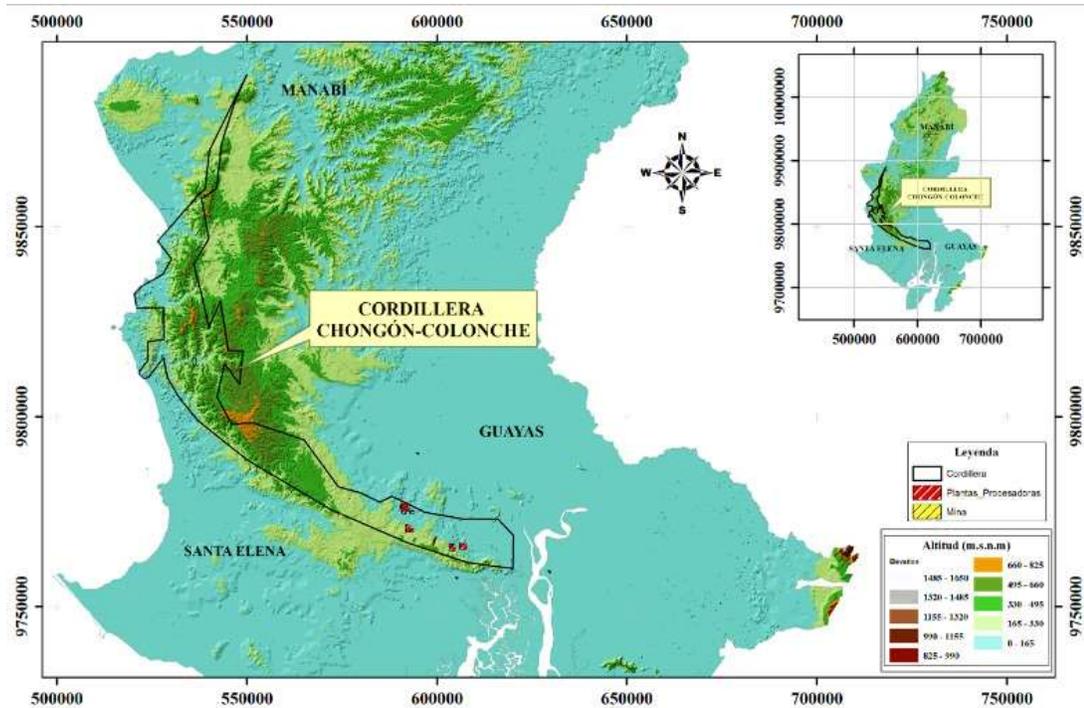


Figura 1.3. Ubicación de la cordillera Chongón-Colonche.

Fuente: (Medina *et al.*, 2022).

1.2. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, compuesto de una mezcla de minerales finamente molidos: caliza, arcilla y yeso. Cuando reacciona con agua, se forma una especie de pasta que fragua y se fortalece por medio de reacciones y procesos de hidratación y cuando se endurece mantiene su resistencia y estabilidad (Polanco & Setién, 2013).

1.2.1. Compuestos químicos del cemento

Cal libre: Este compuesto estimula la expansividad si se hidrata durante el endurecimiento, y debe ser utilizado en pequeñas proporciones (0,5 a 1%).

Magnesia: Permite la expansión del contenido al 5%.

Álcalis: Áridos de sílice, genera sales expansivas (Polanco & Setién, 2013).

Tabla 1.3. Óxidos que constituyen el cemento Portland.

Óxidos	Contenido %
CaO	60 - 67
SiO ₂	5 - 17
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6
MgO	0.1 - 4
Na ₂ O, K ₂ O	0.4 - 1.3
SO ₃	0.1- 2.5
TiO ₂	0 - 0.5
Mn ₂ O ₃	0 - 0.3

Fuente: (Rodríguez Villavicencio, 2021).

1.2.2. Hidratación del cemento

Es un proceso químico, en el cual el aglomerante hidráulico fija el agua e inicia el fraguado, de esta manera, permite que aumente la resistencia de este material. (Polanco & Setién, 2013).

1.2.2.1. Hidratación del cemento a los 7 días

En la figura 1.4. se observa que en el transcurso de 7 días los granos de cemento comienzan a disolverse, dejando en su periferia 3 hidratos que ayudan en el aumento de resistencia, los cuales son:

- Silicato cálcico hidratado
- Cal hidratada
- Aluminado cálcico (Polanco & Setién, 2013).



Figura 1.4. Comportamiento del cemento a los 7 días.

Fuente: (Polanco & Setién, s.f.).

1.2.2.2. Hidratación del cemento a los 28 días

En la figura 1.5. se indica que los hidratos forman una pasta espesa y uniforme que incrementa las propiedades mecánicas del hormigón. Cabe resaltar que el exceso de agua puede causar microporosidad, por lo tanto, es importante no utilizar agua en exceso en los morteros y hormigones (Polanco & Setién, 2013).



Figura 1.5. Comportamiento del cemento a los 28 días.

Fuente: (Polanco & Setián, s.f.).

1.3. Agregados finos

Los agregados son importantes al momento de realizar la mezcla de cemento, arena y agua, por consiguiente, es necesario analizar estos factores para obtener un bloque de resistencia elevada, considerando factores como: la granulometría, tamaños máximos, absorción, etc. (Hidalgo, 2018).

Se considera como agregado fino, al material que se encuentra entre el tamiz de $0.075\mu\text{m}$ hasta el 4.76mm (Hidalgo, 2018).

Características químicas: contenido de materia orgánica, contaminantes, cloruros, azufre.

Características físicas: densidad, porosidad, resistencia al desgaste y fragmentación.

Características geométricas: tamaño de las partículas. (Rodríguez, 2021).

1.4. Agua

El agua es factor muy importante porque permite que se desarrollen las reacciones químicas del cemento y permite que los agregados finos se fijen para formar una mezcla. El agua utilizada en estos procedimientos debe ser potable, libre de grasas, sales o materia orgánica. (Hidalgo, 2018).

1.5. Bloques de concreto para construcción

Se refiere a un cuerpo rectangular constituido de elementos como: cemento, polvo de pómez, chasqui y agua, comúnmente utilizados en la industria de la construcción para mampostería y varían según su forma, dimensiones, peso y componentes (Albán, 2017).



Figura 1.6. Tipos de bloques de concreto.

Fuente: (ANDECE, 2019).

1.5.1. Elaboración de bloques de concreto

Mezclado manual: Según el uso que se dará al bloque se definen las cantidades de cada material, seguidamente, se procede a mezclar dichos componentes con la ayuda de una pala y se añade agua de manera constante para obtener una mezcla fácil de trabajar.

Mezclado mecánico: Se realiza mediante un equipo que posee un diámetro de 1,5 m y una altura de 60 cm, tiene una capacidad de 1.06m³, en la cual se añade la materia prima según el diseño de la mezcla que se requiera para elaborar un determinado tipo de bloque.



Figura 1.7. Mezcladora para fabricar bloques.

Fuente: (Granda & Perlaza, 2012).

Moldeado: Se coloca el material en moldes metálicos y después sobre una mesa vibratoria, con el fin de que la mezcla se distribuya de manera uniforme. Cuando se observe una fina capa de agua en la parte superior del bloque se retira de la máquina.



Figura 1.8. Máquinas para el moldeado de bloques.

Fuente: (Granda & Perlaza, 2012).

Fraguado: Después de ser desmoldados deben fraguar entre 4 a 8 horas.

Curado: Este procedimiento consiste en conservar la humedad en los bloques, dando lugar a las reacciones químicas del cemento que permiten obtener una mayor resistencia (Albán, 2017 ; Granda & Perlaza, 2012).

1.5.2. Clasificación de bloques de concreto

Esta clasificación está definida según el uso que se dará al bloque en la construcción. La norma INEN estipula que existen cinco tipos de bloques (Albán, 2017).

Tabla 1.4. Tabla de clasificación y usos de bloques de concreto.

Tipo	Usos
A	Paredes exteriores de carga sin revestimiento.
B	Paredes exteriores de carga con revestimiento.
C	Paredes divisorias exteriores sin revestimiento.
D	Paredes divisorias exteriores con revestimiento.
E	Losas alivianadas de hormigón armado.

Fuente: (NTE INEN 643, 2014).

1.5.3. Densidad de los bloques de concreto

Livianos: máximo 1200kg/m^3 , son ocupados para la elaboración de muros de interior que distribuyen espacios.

Medios: máximo de 1800kg/m^3 , con el fin de realizar paredes exteriores que no soportan cargas elevadas.

Pesados: superan los 1800kg/m^3 se utilizan para muros exteriores como bardas (Albán, 2017).

1.5.4. Propiedades mecánicas de los bloques de concreto

Tabla 1.5. Resistencia a la compresión simple, en bloques no soportantes.

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Promedio de 3 bloques	4
Bloque individual	3,5

Fuente: (NTE INEN 643, 2014).

Tabla 1.6. Resistencia a la compresión simple, en bloques soportantes.

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Promedio de 3 bloques	6
Bloque individual	5

Fuente: (NTE INEN 643, 2014).

1.5.5. Geometría de los bloques de concreto

Bloque hueco: posee diferentes tipos de acabados superficiales:

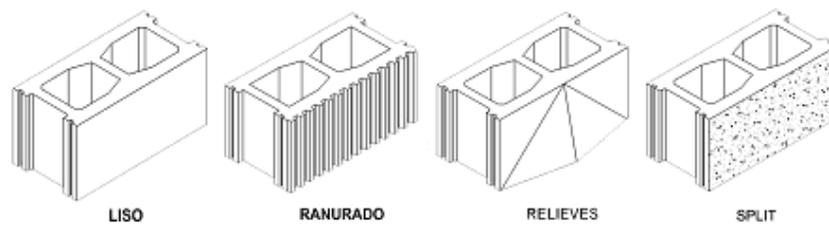


Figura 1.9. Tipos de bloques huecos.

Fuente: (ANDECE, 2019).

Bloques de encofrado: este material de construcción es utilizado para elaborar muros.

Bloque multicámara: es aplicado en construcciones para el mejoramiento del comportamiento acústico y térmico:

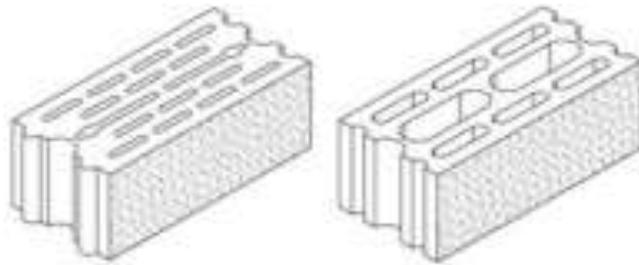


Figura 1.10. Bloque multicámara.

Fuente: (ANDECE, 2019).

Bloque pulido: una máquina de disco realiza un pulido en las caras vistas del bloque. Aplicado tanto en paredes de interior como exterior (ANDECE, 2019).

1.6. Morteros

Está definido como un elemento constructivo que posee una mezcla conformada por tres componentes principales: cemento, agregados finos o arena y agua.

El mortero es utilizado para revestir paredes o muros, como material pegante entre bloques o ladrillos y mampostería estructural (Gutiérrez De López , 2003).

1.6.1. Dosificación de morteros y usos

Los morteros se dosifican en proporciones de peso de cemento y arena.

Tabla 1.7. Usos de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero con alto contenido de cemento, muy resistentes empleados para muros de contención o cimientos.
1:2	Para impermeabilizaciones de tanques subterráneos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines.

Fuente: (Gutiérrez De López , 2003).

Los morteros 1:1 a 1:4 tienen una resistencia alta y su elaboración debe ser con arena limpia.

1.6.2. Clasificación de los morteros

- Morteros que soportan cargas a compresión, por lo tanto, son utilizados en mampostería estructural.
- Morteros de pega, permiten que elementos de construcción se mantengan unidos y en la posición esperada.
- Morteros con superficies lisas y uniformes, empleados para revestimientos.
- Morteros para rellenos (Gutiérrez De López , 2003).

1.6.3. Propiedades de los morteros en estado plástico

Manejabilidad: Se refiere a que tan sencillo es manipular la mezcla y la consistencia de esta, se encuentra estrechamente relacionada a la proporción arena y cemento.

Retención de agua: Es un factor muy importante, porque, de este depende la rapidez de endurecimiento y la resistencia, por otro lado, si no conserva el agua no permite la hidratación del cemento.

Velocidad de endurecimiento: Depende de los elementos que constituyen la mezcla y condiciones ambientales (Gutiérrez De López , 2003).

1.6.4. Propiedades de los morteros en estado endurecido

Retracción: aumenta o disminuye dependiendo del contenido de cemento y la textura de los granos de arena, debe ser rugosa para evitar grietas.

Durabilidad: se refiere a que tan fuerte puede ser el mortero ante la presencia de agentes externos como: temperaturas bajas, deterioro por abrasión y agentes corrosivos.

Resistencia: El mortero que presente mayor resistencia será aquel que contenga mayor cantidad de cemento por volumen. (Gutiérrez De López , 2003).

1.7. Resistencia a la compresión simple

Este ensayo se ejecuta con una muestra o probeta después del tiempo de curado adecuado, la cual debe estar seca, para luego ser colocada en la prensa hidráulica o mecánica que ejerce una carga axial sobre la muestra hasta conseguir su deformación. Estos ensayos permiten saber la calidad de las muestras (NTE INEN 1 573, 2010).



Figura 1.11. Prensa Humboldt.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL

2.1. Caracterización de los materiales

Para elaborar los bloques se utilizaron los siguientes materiales; zeolita, cemento, arena y agua.

2.1.1. Zeolita

La zeolita fue adquirida de la empresa MinmetecEcuador CIA Ltda.

El tipo de zeolita es la **clinoptilolita** perteneciente al grupo de la **heulandita** (MinmetecEcuador CIA Ltda., 2020).

- **Características físicas**

Tabla 2.1. Características físicas de la zeolita de tipo clinoptilolita.

Granulometría	40% máximo retenido en malla 100.
Color	Marrón – verdoso
pH	9.8
Humedad	7 % máx.

Fuente: (MinmetecEcuador CIA Ltda, 2020).

- **Características químicas**

Tabla 2.2. Características químicas de la zeolita tipo clinoptilolita.

Análisis Químico	
Al ₂ O ₃	16.87%
SiO ₂	63.78%
Fe ₂ O ₃	3.54%
Na ₂ O	2.15%
MgO	0.78%
CaO	3.63%
K ₂ O	2.45%
Pérdida de Fuego	6.79%

Fuente: (MinmetecEcuador CIA Ltda, 2020).

2.1.2. Cemento

El cemento hidráulico Holcim Fuerte del tipo GU es utilizado para la construcción en general, está compuesto por Clinker de cemento portland, sulfato de calcio y puzolanas. El cemento fue obtenido de la empresa dedicada a la venta de materiales de construcción DISENSA.



Figura 2.1. Cemento Holcim tipo GU.

Fuente: (Disensa, 2022).

	INEN 2380	Valor referencial HOLCIM
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	—	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa		
1 día	—	—
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.02	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	—	—

Figura 2.2. Especificaciones técnicas del cemento Holcim tipo GU.

Fuente: (Disensa, 2022).

2.1.3. Arena

La arena proviene de la mina de materiales pétreos del cantón Santa Isabel, ubicado en la provincia del Azuay y es comercializada por la empresa Disensa en la ciudad de Cuenca.

2.2. Dosificación para elaborar los bloques de cemento

La dosificación para los bloques está establecida de la siguiente manera: 1:2, 1:3 y 1:4 con la finalidad de obtener una mezcla que sea fácil de manipular y que endurecida presente una resistencia favorable.

2.2.1. Dosificación 1:2 para 10 bloques

Datos

- Relación agua/cemento: 48%
- Porcentaje de humedad de la arena: 4%
- Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar (arena)} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

Tabla 2.3. Dosificación 1:2 cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidad
Cemento	1750 g
Arena	3500 g
Agua	$840 \text{ cm}^3 + 140 \text{ cm}^3 = 980 \text{ cm}^3$

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Dosificación 1:3 para 10 bloques

Datos

- Relación agua/cemento: 48%
- Porcentaje de humedad de la arena: 4%
- Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar (arena)} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3$$

Tabla 2.4. Dosificación 1:3 cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidad
Cemento	1166 g
Arena	3500 g
Agua	$560 \text{ cm}^3 + 140 \text{ cm}^3 = 700 \text{ cm}^3$

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Dosificación 1:4 para 10 bloques

Datos

- Relación agua/cemento: 48%
- Porcentaje de humedad de la arena: 4%
- Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar (arena)} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3$$

Tabla 2.5. Dosificación 1:4 cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidad
Cemento	875 g
Arena	3500 g
Agua	$420 \text{ cm}^3 + 140 \text{ cm}^3 = 560 \text{ cm}^3$

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Dosificación para elaborar los bloques de cemento-zeolita

Las dosificaciones 1:2, 1:3 y 1:4 se realizaron utilizando la zeolita en un 50% del total de cemento de la mezcla.

2.3.1. Dosificación 1:2 para 10 bloques

Datos

- Relación agua/cemento: 48%
- Porcentaje de humedad de la arena: 4%
- Porcentaje de humedad de la zeolita: 7%
- Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar (arena)} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua por agregar (zeolita)} = \frac{7\% (875)}{100} = 61,25 \text{ cm}^3$$

Tabla 2.6. Dosificación 1:2 zeolita, cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidades
Zeolita	875 g
Cemento	875 g
Arena	3500 g
Agua	$420 \text{ cm}^3 + 61.25\text{cm}^3 + 140\text{cm}^3 = 621.25\text{cm}^3$

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Dosificación 1:3 para 10 bloques

Datos

Relación agua/cemento: 48%

Porcentaje de humedad de la arena: 4%

Porcentaje de humedad de la zeolita: 7%

Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar (arena)} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua por agregar (zeolita)} = \frac{7\% (583)}{100} = 40,81 \text{ cm}^3$$

Tabla 2.7. Dosificación 1:3 zeolita, cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidades
Zeolita	583 g
Cemento	583 g
Arena	3500 g
Agua	$420 \text{ cm}^3 + 40.81 \text{ cm}^3 + 140 \text{ cm}^3 = 600.81 \text{ cm}^3$

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Dosificación 1:4 para 10 bloques

Datos

- Relación agua/cemento del 48%
- Porcentaje de humedad de la arena: 4%
- Porcentaje de humedad de la zeolita: 7%
- Cantidad de arena para 10 bloques: 3500 g

$$\text{Agua por agregar} = \frac{4\% (3500)}{100} = 140 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua por agregar} = \frac{7\% (437,5)}{100} = 30,62 \text{ cm}^3$$

Tabla 2.8. Dosificación 1:4 zeolita, cemento, arena y agua.

Materiales	Cantidades
Zeolita	437,5 g
Cemento	437,5 g
Arena	3500 g
Agua	$210 \text{ cm}^3 + 30.62 \text{ cm}^3 + 140 \text{ cm}^3 = 380.62 \text{ cm}^3$

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Descripción del proceso para la elaboración de los bloques

Se procedió a realizar las muestras en el laboratorio de la escuela de ingeniería en Minas, se prepararon los agregados finos para después ser añadidos con cemento y zeolita, y de esta manera se elaboraron las mezclas.

Equipos y materiales utilizados

- Guantes
- Gafas
- Mandil
- Recipientes plásticos
- Serie de tamices
- Horno eléctrico
- Balanza electrónica
- Moldes
- Vaso de precipitado
- Desmoldante
- Espátula
- Taladro
- Pie de rey
- Vasos plásticos

2.4.1. Procedimiento para la elaboración de los bloques

Secado de la arena: La arena fue sometida a un proceso de secado, a una temperatura de 100 °C en el horno eléctrico marca Indurama.



Figura 2.3. Secado de la arena a 100 °C.

Fuente: Elaboración propia.

Gradación de arena: La granulometría del árido fino fue pasante malla 20 (850 μm) y retenido malla 30 (600 μm).



Figura 2.4. Tamizado de la arena.

Fuente: Elaboración propia.

Pesar la materia prima: los materiales fueron pesados según los datos obtenidos a través de cálculos, los cuales se encuentran descritos en las tablas anteriores.



Figura 2.5. Peso de la zeolita.

Fuente: Elaboración propia.

Colocación del desmoldante: los moldes fueron revestidos con un desmoldante para facilitar la obtención de las probetas.



Figura 2.6. Colocación del desmoldante.

Fuente: Elaboración propia.

Mezclado de materiales: primeramente, se procedió a mezclar los materiales en seco hasta que se pueda observar su integración total, después se agregó agua de manera constante hasta obtener una pasta que sea fácil de moldear.



Figura 2.7. Mezclado de los materiales.

Fuente: Elaboración propia.

Moldeado de los bloques y compactación de la mezcla: Este procedimiento se realizó colocando la mezcla en el molde y luego se agitó manualmente hasta que el material se distribuyó de manera uniforme y se eliminaron las burbujas de aire.



Figura 2.8. Compactación manual de la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Aplanado: con el uso de la espátula la cara del bloque expuesta quedó totalmente plana.



Figura 2.9. Uso de la espátula para aplanar la cara expuesta de los bloques.

Fuente: Elaboración propia.

Fraguado inicial: las muestras fueron almacenadas en un lugar fresco y seco, a una temperatura promedio de 20°C por un lapso de 36 horas para que se endurezcan totalmente.



Figura 2.10. Fraguado inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Desencofrado: las muestras se desmoldaron con un taladro, teniendo el debido cuidado para evitar que se dañen los bordes de los bloques.



Figura 2.11. Desencofrado de los moldes.

Fuente: Elaboración propia.

Numeración de muestras



Figura 2.12. Numeración de muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Curado de las muestras: permanecieron 28 días cubiertas totalmente de agua.

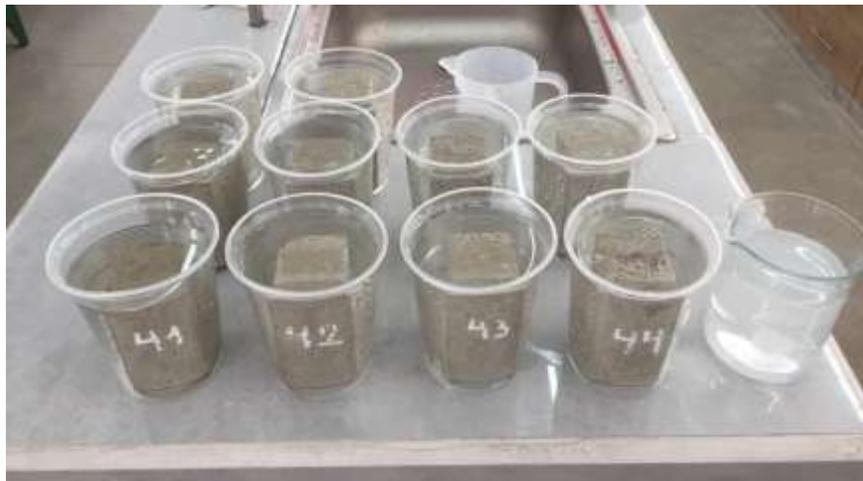


Figura 2.13. Bloques sumergidos en agua.

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Ensayo de resistencia a la compresión simple en los bloques

El ensayo fue realizado en el laboratorio de la escuela de ingeniería civil de la Universidad del Azuay.

Se utilizó la prensa hidráulica marca Humboldt que permite la aplicación de una carga constante a las muestras y de esta manera, se puede conocer el esfuerzo máximo que puede soportar una probeta antes de que falle.

Las 60 muestras realizadas fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión simple.

Materiales y equipos

- Mandil
- Gafas
- Pie de rey
- Prensa hidráulica Humboldt
- Muestras

2.5.1. Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión simple

Se secaron las muestras con un paño hasta eliminar el exceso de agua, posteriormente se procedió al pesado de las muestras.



Figura 2.14. Peso de la muestra 11.

Fuente: Elaboración propia.

Medición de las muestras: el área de contacto fue calculada con las medidas de ancho y espesor de las muestras utilizando el pie de rey.



Figura 2.15. Medición de muestras con el pie de rey.

Fuente: Elaboración propia.

La probeta fue colocada en la prensa hidráulica Humboldt, observando que se encuentre perfectamente centrada.



Figura 2.16. Muestra 4 colocada en la prensa hidráulica Humboldt.

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó a la muestra una carga a una velocidad constante hasta que falle.



Figura 2.17. Rotura de la muestra 4 después de soportar la carga ejercida por la prensa hidráulica Humboldt.

Fuente: Elaboración propia.

La prensa hidráulica Humboldt registra todos los datos de las probetas y directamente calcula la resistencia a la compresión simple en (N/mm^2) y la carga máxima soportada por la muestra.



Figura 2.18. Resultados obtenidos luego de la rotura de la probeta.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se especificará el cálculo de la resistencia a la compresión simple de los bloques de cemento y zeolita, cabe recalcar que cada bloque ya sea de cemento y zeolita poseen 10 muestras que fueron utilizadas para el ensayo, de las cuales 4 muestras fueron descartadas debido a que poseen variaciones en los resultados obtenidos del esfuerzo, por consiguiente, estos valores generan sesgos en la interpretación de datos, ello se puede atribuir a mala calibración de la máquina o problemas en el tratamiento de las muestras, mientras que, las 6 muestras restantes poseen datos similares entre sí y de esta manera, es posible calcular la media, mediana y la desviación estándar.

3.1 Resultados de la resistencia a la compresión simple de bloques de cemento

Tabla 3.1. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.

RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm²)	Esfuerzo (MPa)
1	5	5,1	27.596	2550	10,82
2	5	5	29.577	2500	11,83
3	5	5	42.532	2500	17,01
4	5,1	5,1	26.499	2601	10,19
5	5,1	5	27.596	2550	10,82
6	5	5	25.379	2500	10,15
7	5	5	26.900	2500	10,76
8	5,1	5	4.738	2550	1,86
9	5,1	5,1	10.064	2601	3,87
10	5	5	22.591	2500	9,04

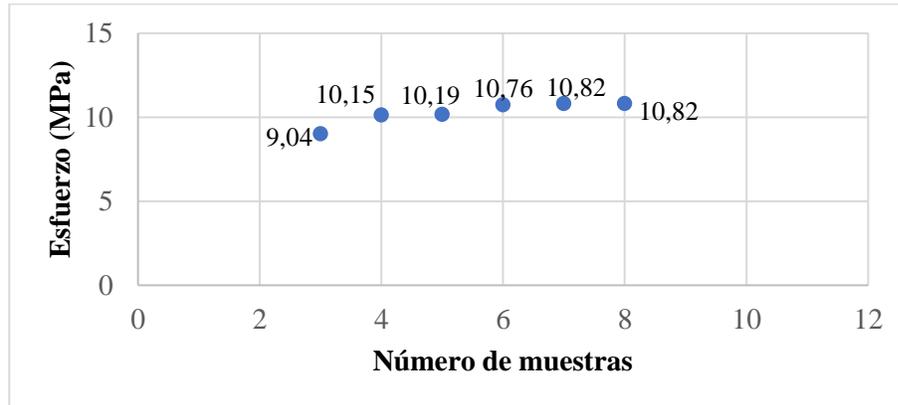


Figura 3.1. RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:2.

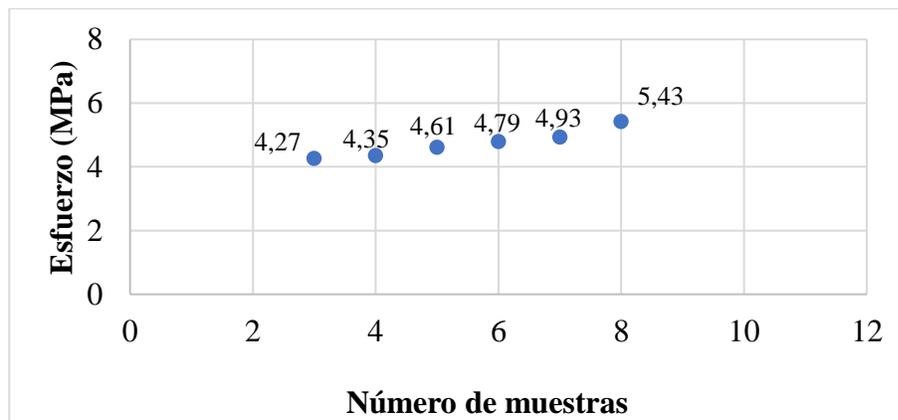
Media	10,30 MPa
Mediana	10,47 MPa
Desviación estándar	0,69 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.

RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3 cemento					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm²)	Esfuerzo (MPa)
11	5	5,01	24.973	2505	9,97
12	5,05	5,07	13.892	2560,35	5,43
13	5,05	5,07	12.634	2560,35	4,93
14	5,07	4,9	10.808	2484,3	4,35
15	5	5	11.536	2500	4,61
16	5,05	5,02	10.814	2535,1	4,27
17	5	5,05	17.907	2525	7,09
18	5,01	5,01	12.018	2510,01	4,79
19	5,01	5,07	10.139	2540,07	3,99
20	5	5,05	10.005	2525	3,96

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.** RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:3.

Media	4,73 MPa
Mediana	4,70 MPa
Desviación estándar	0,42 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Cálculo de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.

RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm²)	Esfuerzo (MPa)
21	5	5,01	13.758	2505	5,49
22	5,01	5,01	14.308	2510,01	5,70
23	5,03	5,01	5.904	2520,03	2,34
24	4,9	5	3.927	2450	1,60
25	5	5,01	3.078	2505	1,23
26	5,01	5,01	3.071	2510,01	1,22
27	5	5,01	6.022	2505	2,40
28	5,01	5,05	3.972	2530,05	1,57
29	5,01	5	6.756	2505	2,70
30	5,01	5	5.287	2505	2,11

Fuente: Elaboración propia.

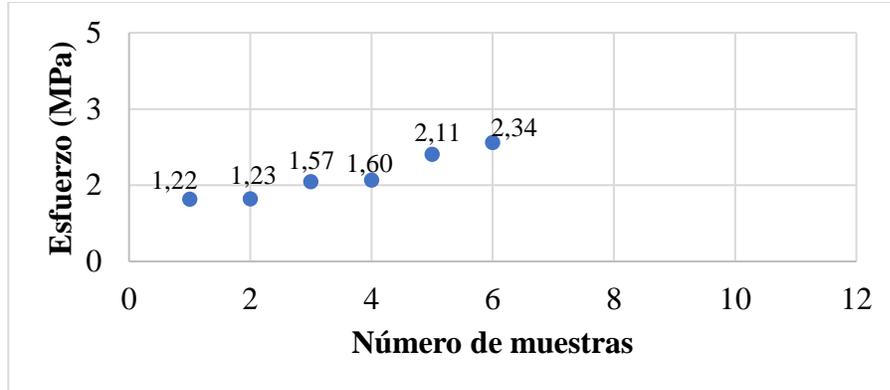


Figura 3.3. RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento de dosificación 1:4.

Media	1,68 MPa
Mediana	1,59 MPa
Desviación estándar	0,46 MPa

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Resultados de resistencia a la compresión simple de bloques de cemento-zeolita

Tabla 3.7. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.

RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm ²)	Esfuerzo (MPa)
31	5	5,1	14.668	2550	5,75
32	5,01	5,01	4.711	2510,01	1,88
33	5,03	5,01	4.577	2520,03	1,82
34	4,9	5	5.556	2450	2,27
35	5	5,01	4.604	2505	1,84
36	5,01	5,01	7.495	2510,01	2,99
37	5	5,01	13.999	2505	5,59
38	5,01	5,05	3.721	2530,05	1,47
39	5,01	5	4.845	2505	1,93
40	5,01	5	16.221	2505	6,48

Fuente: Elaboración propia.

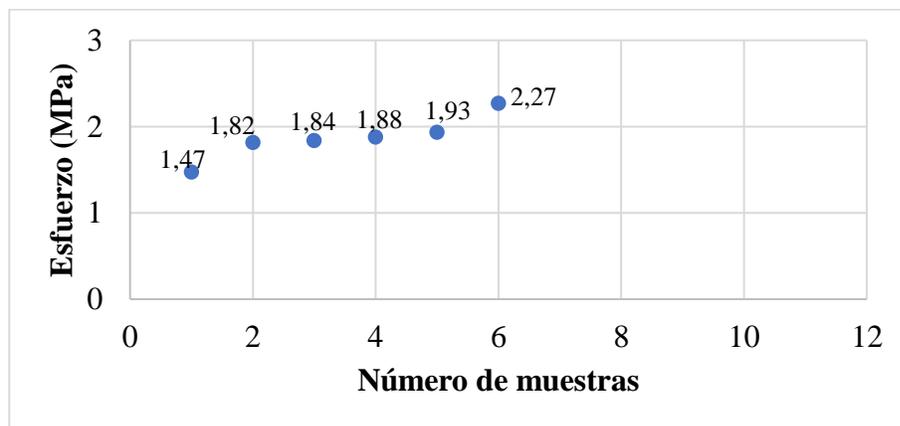


Figura 3.4. RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:2.

Media	1,87 MPa
Mediana	1,86 MPa
Desviación estándar	0,26 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.

RCS bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm²)	Esfuerzo (MPa)
41	5	4,9	10.947	2450	4,47
42	5	5,01	5.193	2505	2,07
43	5	5,01	3.533	2505	1,41
44	5	5,02	3.462	2510	1,38
45	4,9	4,9	4.015	2401	1,67
46	5	5,05	6.683	2525	2,65
47	5	5	2.254	2500	0,90
48	5	5,07	3.443	2535	1,36
49	5,05	5,06	3.354	2555,3	1,31
50	5	5,01	3.682	2505	1,47

Fuente: Elaboración propia.

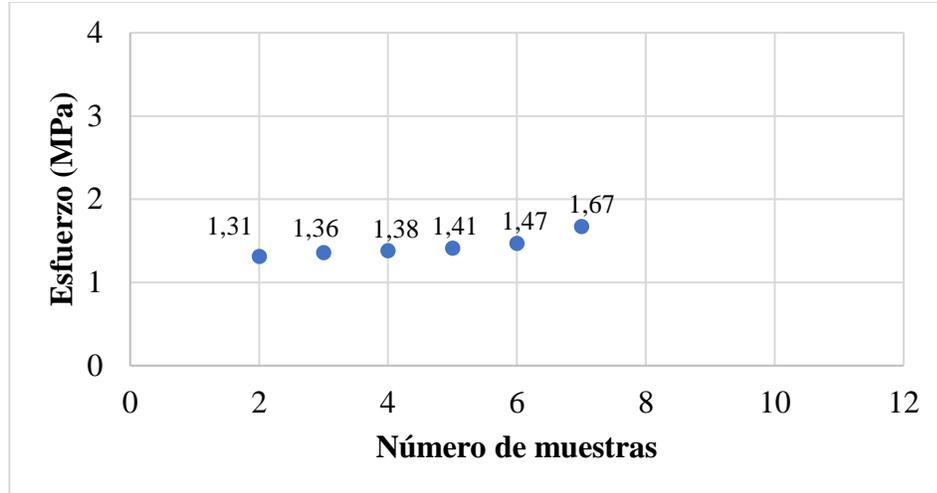


Figura 3.5. RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:3.

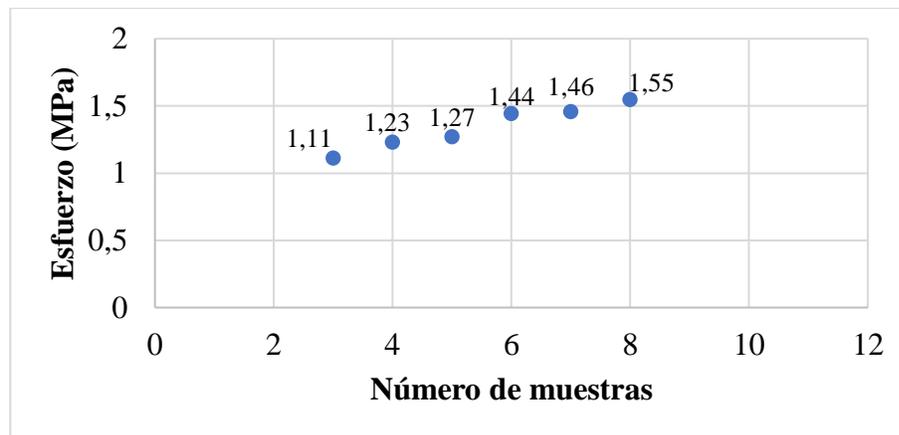
Media	1,43 MPa
Mediana	1,39 MPa
Desviación estándar	0,13 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11. Cálculo de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.

RCS bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4					
Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (N)	Área (mm ²)	Esfuerzo (MPa)
51	5	5,01	6.970	2505	2,78
52	5,01	5,01	8.025	2510,01	3,20
53	5,03	5,01	1.261	2520,03	0,50
54	4,9	5	3.540	2450	1,44
55	5	5,01	3.650	2505	1,46
56	5,01	5,01	2.791	2510,01	1,11
57	5	5,01	0,778	2505	0,00
58	5,01	5,05	3.918	2530,05	1,55
59	5,01	5	3.086	2505	1,23
60	5,01	5	3.184	2505	1,27

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.6.** RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Media, mediana y desviación estándar de RCS de bloques de cemento-zeolita de dosificación 1:4.

Media	1,34 MPa
Mediana	1,36 MPa
Desviación estándar	0,17 MPa

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Comparación entre los pesos de los bloques de cemento y zeolita

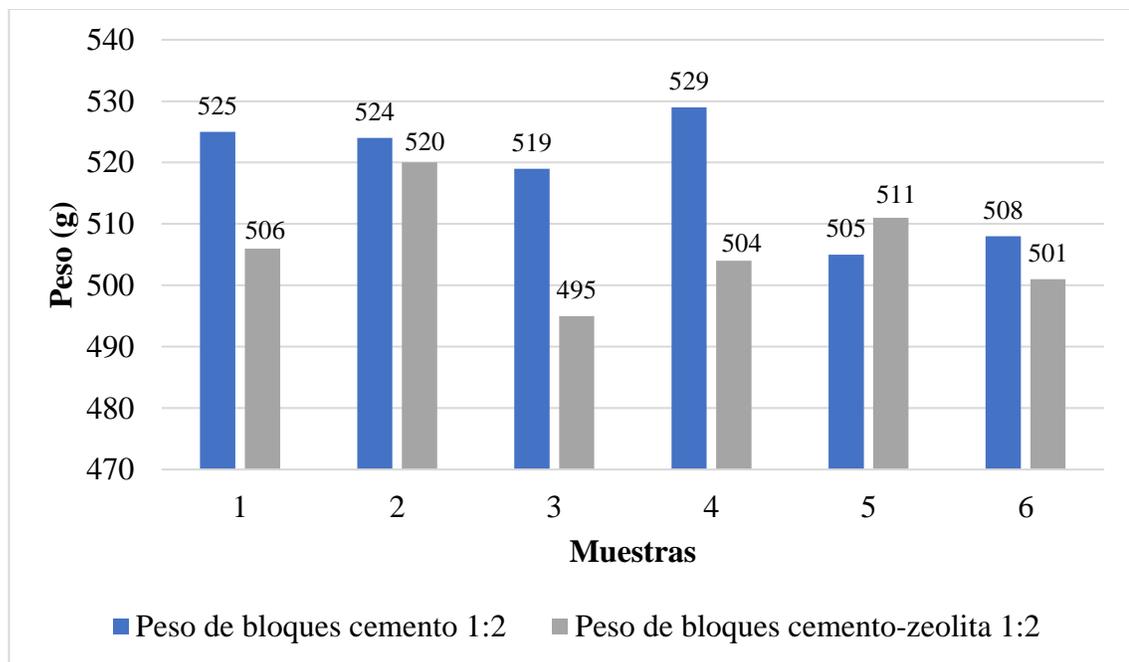


Figura 3.7. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:2.

Fuente: Elaboración propia.

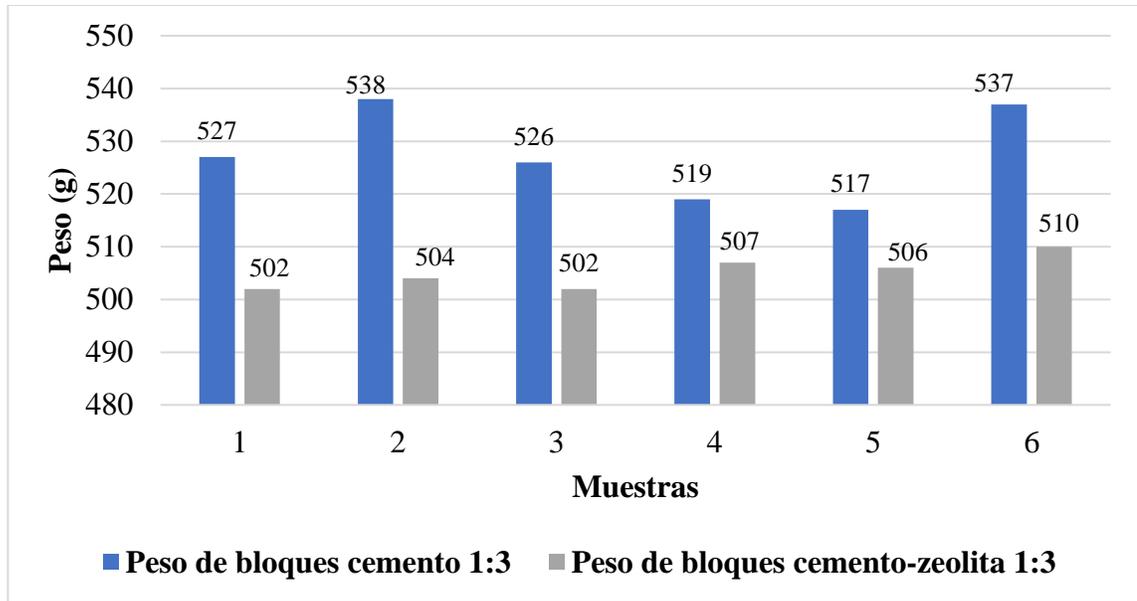


Figura 3.8. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:3.

Fuente: Elaboración propia.

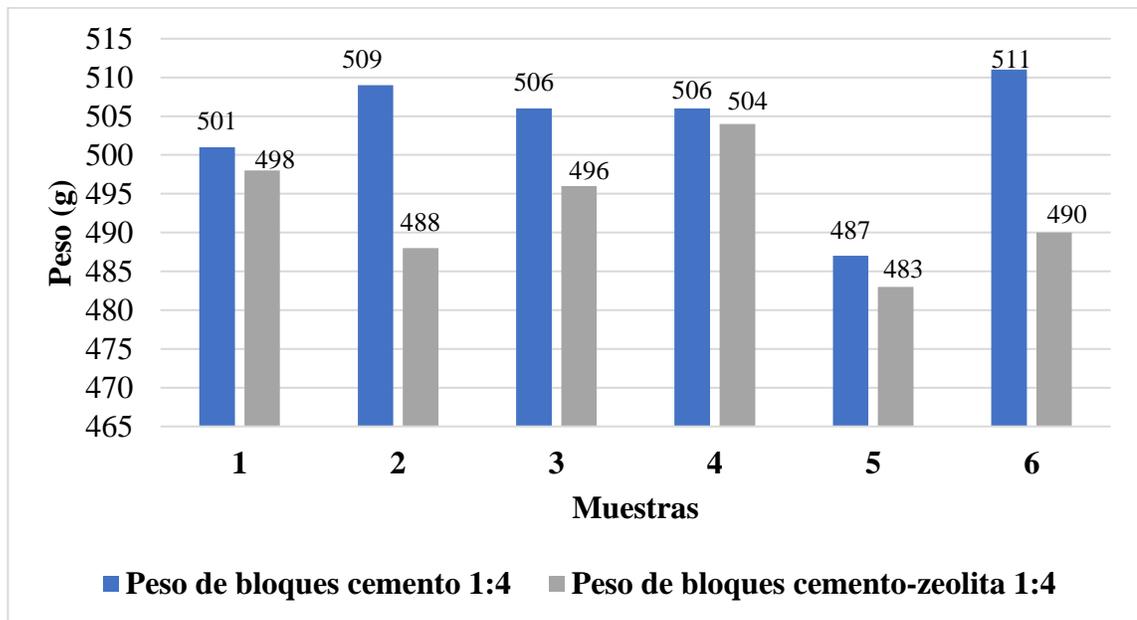


Figura 3.9. Comparación entre los pesos de bloques de dosificación 1:4.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9, evidencian que las muestras que contienen únicamente cemento tienen un peso mayor en comparación a las muestras de cemento-zeolita, en base a estos resultados estas muestras pueden ser utilizadas para la construcción de objetos que no necesiten un alta resistencia o que estén sometidos a diversas fuerzas como: mampostería, paredes de distribución de espacios, jardinería, etc., de esta manera, se optimizan los procesos de construcción. Sin embargo, también se ha podido observar que el uso de zeolita se puede clasificar como un material que se puede añadir a las mezclas para reducir costos, tiempos y productos a emplear. Por otra parte, la zeolita no puede ser utilizada en la construcción de edificaciones sin la presencia del cemento, porque no cumplen con las condiciones necesarias para soportar estructuras complejas.

3.4 Comparación entre la RCS de los bloques de cemento y cemento-zeolita

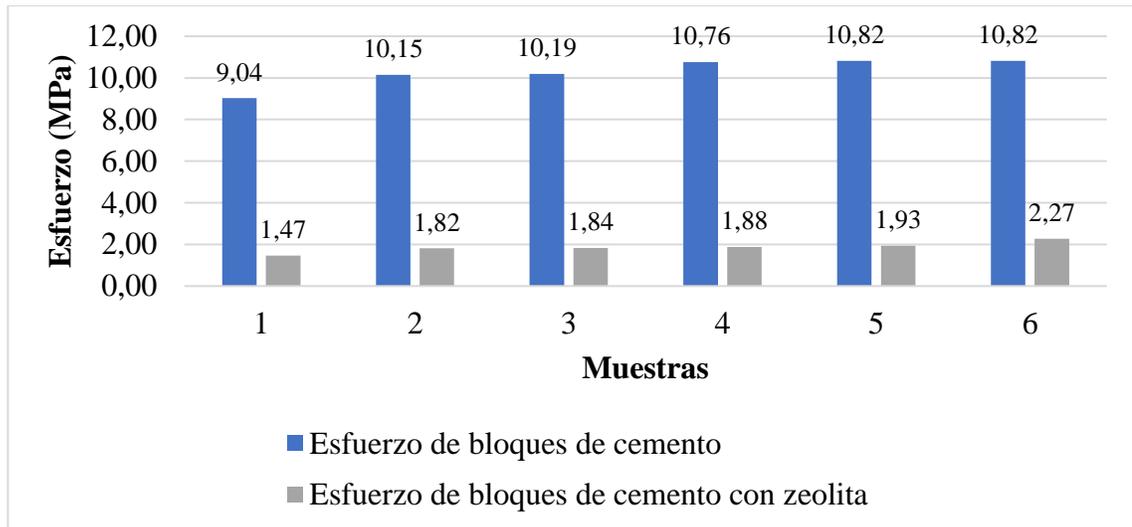


Figura 3.10. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:2.

Fuente: Elaboración propia.

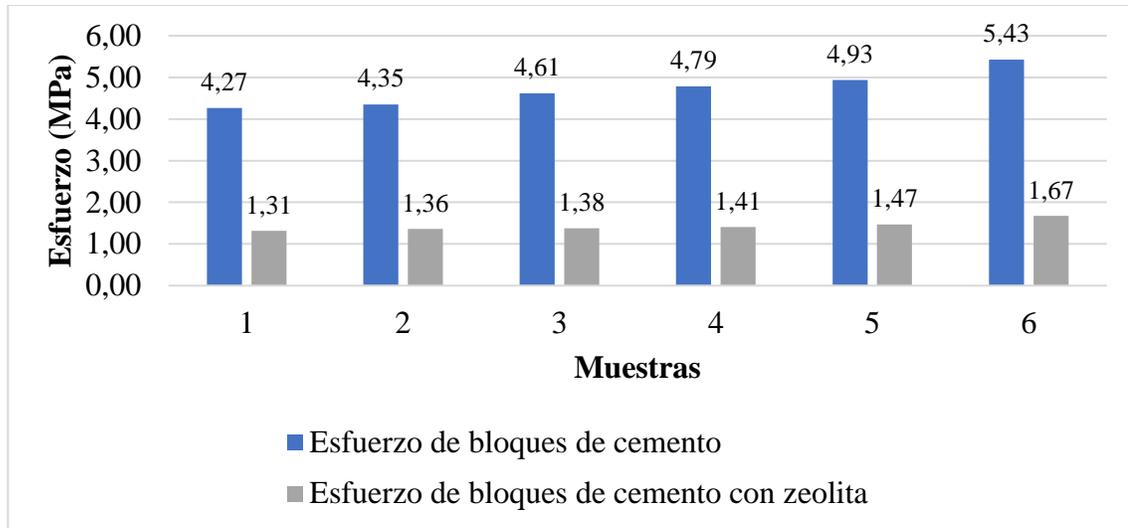


Figura 3.11. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:3.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en las figuras 3.10. y 3.11., que los bloques conformados por únicamente cemento presentan una resistencia a la compresión simple mucho más alta, en relación a los bloques elaborados con cemento y zeolita, ello en referencia a las dosificaciones 1:2 y 1:3, por lo cual, se demostraría que en este nivel la combinación entre cemento y zeolita no es apta para ámbitos constructivos de gran jerarquía.

Los bloques que se encuentran constituidos únicamente con base de cemento, señalan su RCS en mayores niveles, ello puede ser relacionado con los valores de peso analizados en las tablas anteriores. Siendo por lo general mayores con las muestras de comparación constituidas por cemento-zeolita, cuyos valores son referencialmente bajos. Según aquello, se puede inferir que la composición química de la zeolita en combinación con el cemento permite generar espacios dentro de las muestras que reducen su peso, afectando la resistencia de estos bloques.

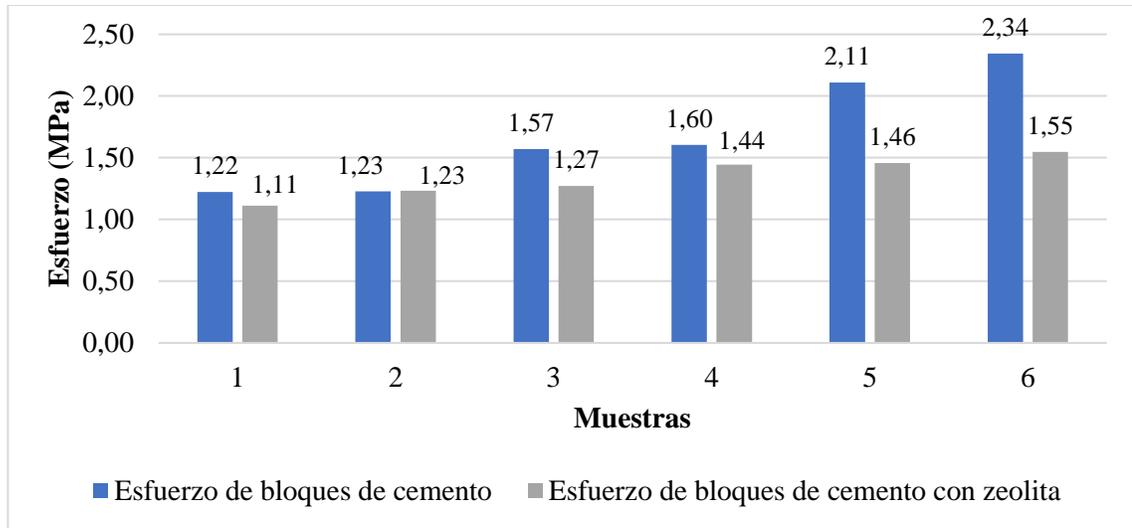


Figura 3.12. Comparación entre RCS de bloques de dosificación 1:4.

Fuente: Elaboración propia.

La composición de los bloques que únicamente contienen cemento, presentan una tendencia normal con una resistencia elevada; sin embargo, al ser comparado con las muestras que poseen cemento-zeolita en dosificación 1:4, se observa la constitución de cuerpos más concisos que permiten que la muestra sea equiparable con los elementos de cemento, concluyendo que su uso es factible en elementos básicos bajo esta dosificación, permitiendo ser utilizada en distribuciones de espacio, elementos decorativos y mampostería no estructural.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El uso de la zeolita como único material en la formación de bloques, que pueda llegar a reemplazar al cemento considerando sus condiciones físico-químicas, no es factible, pues la estructura es débil y se fractura de inmediato.
- En el caso de los bloques de cemento al tener una dosificación con mayor cantidad de cemento se puede observar que la resistencia a la compresión simple es mucho mayor, por lo cual su integridad al deterioro es menor.
- Los bloques de dosificación 1:2, 1:3 y 1:4 que contienen únicamente cemento, presentan un peso mucho más grande en comparación con los bloques muestra de similar dosificación; con la adición de zeolita, en cuanto a los pesos involucrados para la formación del bloque puede existir una reducción de costos en el material empleado.
- La dosificación que favorece la presencia de cemento y zeolita dentro de un contexto para posibles usos estructurales resalta en la de dosificación 1:2, pues dentro de este grupo de muestras se pudo observar que la resistencia a la compresión bajo el parámetro descrito es 0,44 veces más resistente que la 1:3 y 0,53 veces en comparación a la 1:4.
- La zeolita con el cemento en una dosificación 1:2 posee una resistencia a la compresión equiparable a la que utiliza solo cemento en dosificación 1:4; por lo tanto, si bien no puede ser empleado dentro de ámbitos constructivos de gran nivel, se puede utilizar en elementos básicos como distribuciones de espacio, jardinería y ornamentación.
- Los elementos constructivos de menor nivel y esenciales como la distribución de espacio, jardinería u ornamentación, pueden emplear este método que permite el uso de cemento con zeolita, pues sus costos son menores y de mayor accesibilidad a la población.
- Debido a su composición físico química, el material de cemento con zeolita puede tener un fraguado mucho más rápido, reduciendo los tiempos de construcción.

Recomendaciones

- Al momento de realizar el desencofrado de cada molde con respecto a la muestra, se puede utilizar algún tipo de elemento desmoldante que facilite el trabajo y que no interfiera en la composición química de las muestras.
- El agregado fino a utilizarse en la elaboración de los bloques debe mantenerse en un lugar fresco y seco para evitar la humedad, lo cual puede generar un factor que vulnere la integridad física de las muestras y retrasar el proceso de fraguado de los materiales.
- Para el almacenamiento del cemento y la zeolita se recomienda un lugar fresco y seco, debido a que factores como la humedad provocan que el cemento se aglutine formando grumos que impiden su correcta hidratación, y en la zeolita provocan cambios de volumen debido a su capacidad de absorción e impiden el correcto análisis de sus propiedades como tamaño de partículas, además de evitar el riesgo de contaminación con otros elementos.
- Utilizar agua libre de ácidos, materia orgánica, aceites, sales, entre otros. Estas sustancias pueden generar reacciones químicas que alteran la integridad física del cemento, disminuir o retardar los tiempos de fraguado, reducir la resistencia y durabilidad del concreto.
- Se debe seleccionar el tamaño del agregado con respecto al tipo de construcción que se vaya a realizar, debido a que el tamaño de los agregados puede variar de forma significativa y generar modificaciones en los procesos de construcción.
- Dentro de los procesos de conformación de las muestras se pueden emplear otros elementos aditivos que mejoren sus condiciones físico químicas y puedan perfilarse para usos más generales dentro de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán Condo, A. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de bloques fabricados con pet como sustituto parcial de la piedra pómez (cascajo) y bloques con suelo arcilloso como sustituto parcial del agregado fino*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25754/1/Tesis%201134%20-%20Alb%20C3%A1n%20Condo%20Andrea%20Margarita.pdf>
- ANDECE. (2019). *Muros de bloques y ladrillos de hormigón*. Prefabricados de hormigón-ANDECE: <https://www.andece.org/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Muros-de-bloques-y-ladrillos-de-horming%C3%B3n.V1.pdf>
- Costafreda Mustelier, J. (2008). *Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería)*. Archivo Digital UPM - Universidad Politécnica de Madrid:
https://oa.upm.es/1211/1/JORGE_LUIS_COSTAFREDA_MUSTELIER.pdf
- Costafreda Mustelier, J., Martín Sánchez, D., & Costafreda Velázquez, J. L. (2018). *Las zeolitas naturales de Iberoamérica*. Archivo Digital UPM - Universidad Politécnica de Madrid:
https://oa.upm.es/50683/1/zeolitas_naturales_Iberoamerica_2018.pdf
- Curi, A., Granda, W., Lima, H., & Sousa, W. (2006). *Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros*. Scielo:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000600017
- Disensa. (2022). *Cemento Holcim Fuerte EcoPlanet Tipo GU 50Kg – GU*. Disensa Ecuador : <https://disensa.com.ec/producto/cemento-holcim-fuerte-ecoplanet-tipo-gu-50kg-gu/>
- Flores, L. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Instituto de Geología - UNAM:
<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Garcés, I. (s.f.). *Zeolita*. Universidad de Antofagasta:
<https://intranetua.uantof.cl/salares/Fichas/Zeolita.pdf>
- Granda Mejía, C., & Perlaza Benavides, W. (2012). *Análisis, diseño e implementación para la automatización de las etapas de producción de una máquina bloquera*. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca:
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/676/1/te341.pdf>

- Gutiérrez De López , L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales : Centro de publicaciones: Universidad Nacional de Colombia.
- Hé Hernández Alarcón , L. (2012). *Dosificación de morteros y concretos*. Slideshare: <https://es.slideshare.net/lilianahernandezalarcon/dosificacin-de-morteros-y-concretos>
- Hidalgo Silverio , O. (2018). *Diseño de hormigones de alta resistencia utilizando agregados de la cantera Vega Rivera y cemento holcim fuerte tipo GU*. Repositorio Digital de la UTMACH: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13230/1/TTUAIC_2018_IC_CD0008.pdf
- Laura Huanca, S. (Marzo de 2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Topodata: <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/09/Dise%C3%B1o-de-Mezclas-de-Concreto-Ing.-Samuel-Laura-Huanca.pdf>
- Maldonado Maldonado, D. (Enero de 2021). *Estudio de la zeolita natural como sustituto parcial del cemento tipo GU en la construcción*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31997/1/Tesis%20I.%20C.%201420%20-%20Maldonado%20Maldonado%20Diego%20Andr%c3%a9s.pdf>
- Medina , S., Ureña, M., Medina, C., & Coello Fiallos, D. (2022). Georreferenciación de zeolitas naturales en la cordillera Chongon-Colonche del Ecuador. *Revista de Investigación Talentos*, 45-59. <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/340/392>
- Mejía Rodríguez , F. (2016). *Zeolitas: generalidades, potenciales y sus aplicaciones en energía*. Repositorio Institucional ITM: <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/197/MejiaRodriguezFerneySantiago2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- MinmetecEcuador CIA Ltda. (2020). *Ficha Técnica Agrolite*. Cuenca.
- Morante Carballo, F. E. (2004). *Las zeolitas en las costas del Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones*. Universidad politécnica de Madrid: <https://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf>
- NTE INEN 1 573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. INEN : <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
- NTE INEN 638. (2014). *Bloques huecos de hormigón. Definiciones, clasificación y condiciones generales*. INEN: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_638.pdf
- NTE INEN 643. (2014). *Bloques huecos de hormigón. Requisitos*. INEN: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_643.pdf

- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos*. INEN:
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872.pdf>
- Polanco Madrazo, J., & Setién Marquínez, J. (2013). *Cementos, morteros y hormigones*. UCrea:
https://ocw.unican.es/pluginfile.php/811/course/section/868/1_Cementos.pdf
- Rodriguez Villavicencio, G. (2021). *Efectos de la zeolita como material suplementario del cemento portland en la resistencia a compresión del concreto estructural*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33535/1/Tesis%20I.%20C.%201517%20-%20Rodriguez%20Villavicencio%20Gonzalo%20David.pdf>
- Salcedo Rivera, V. (2021). *Estudio de las propiedades físicas de zeolita natural (aluminosilicato) de tipo clinoptilolita para remplazo parcial del cemento portland*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32000/1/Tesis%20I.%20C.%201423%20-%20Salcedo%20Rivera%20Ver%c3%b3nica%20Elizabeth.pdf>
- Servin R., L. (s.f.). *Zeolitas*. Obtenido de Fisicanet:
<https://www.fisicanet.com.ar/quimica/inorganica/ap03-zeolita.php>
- Valenzuela Romero, Y. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón al emplear zeolita natural en reemplazo parcial del cemento*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25828/1/Tesis%201142%20-%20Valenzuela%20Romero%20Yadira%20Guadalupe.pdf>

ANEXOS



Anexo 1. Peso de la zeolita.



Anexo 2. Peso de la arena.



Anexo 3. Dosificación 1:3: arena, cemento y agua.



Anexo 4. Mezcla de la dosificación 1:2 de cemento, zeolita y agua.



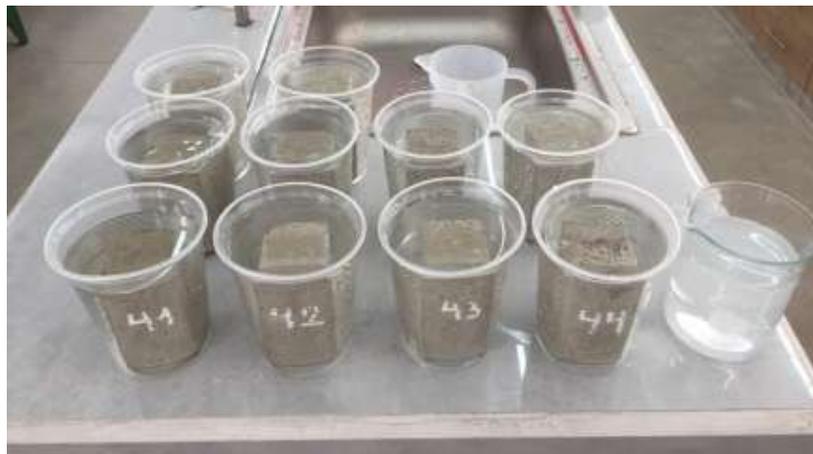
Anexo 5. Colocación de la mezcla en los moldes.



Anexo 6. Desencofrado de los moldes y obtención del bloque.



Anexo 7. Numeración de las muestras.



Anexo 8. Curado de las muestras de dosificación 1:3: zeolita, cemento, arena y agua.



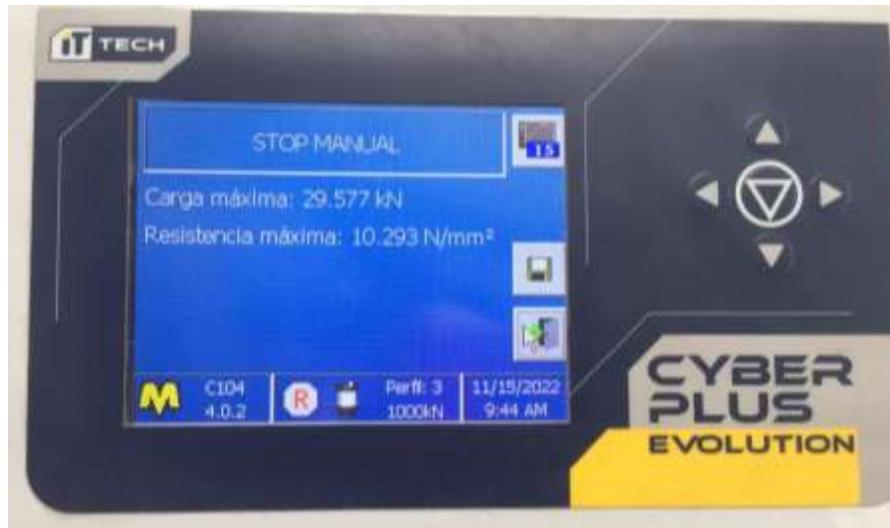
Anexo 9. Muestras de dosificación 1:3: zeolita, cemento, arena y agua.



Anexo 10. Peso de la muestra de dosificación 1:4: zeolita, cemento, arena y agua.



Anexo 11. Ensayo de la resistencia a la compresión simple de la muestra 1.



Anexo 12. Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión simple de la muestra 1.