



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de morteros con
adición de zeolita”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

WILSON HOMERO GUALLPA URGILEZ
DIXON MAURICIO GUAYLLAZACA CORDOVA

Director:

ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2024

DEDICTORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis pilares fundamentales durante este largo trayecto de la carrera, mis padres Cesar y Blanca por ese infinito amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir una etapa más en mi vida, gracias por ser esa inspiración y ensañarme que en el trayecto nos podemos caer pero que con esfuerzo nos levantaremos y seguiremos con coraje para cumplir nuestros sueños.

A mis tíos Luis Urgilez quien no está presente físicamente, pero sus palabras, carisma y su sonrisa me han motivado a seguir adelante, A Luis Guallpa por brindarme sus consejos desde niño y luchar por lo correcto para ser un mejor ser humano.

A mis primas Alex, Elena, Paola, Teresa, Erica, Mónica por ser siempre ese apoyo emocional para seguir en adelante

Mis hermanos Johana, Mirian, David y Nicolas por siempre mostrarme su apoyo incondicional.

Wilson Homero Guallpa Urgilez

Este gran esfuerzo y logro va dedicado a Blanca Guayllazaca y Blanca Cordova, quienes durante toda mi vida han sido todo para mí. Gracias a ellas y toda mi familia, han formado una persona capaz de todo lo que se propone, que nunca se rinde y siempre encuentra una solución a todo.

De igual manera, agradezco por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado, mis tías, tíos, hermana, primos, primas, a quienes con cariño y mucho amor llamo ñañas y ñaños. Seria grato poder mencionar a todos, pero saben que esto va dedicado para todos ustedes.

A mi ñañito Frans, esto es para ti.

Dixon Mauricio Guayllazaca Cordova

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es a Dios, por permitirme cumplir con este sueño y aprender del proceso que conlleva, por la fuerza para nunca darme por vencido y la convicción de siempre tener fe y confianza en su palabra.

A los docentes de la Escuela de ingeniería en Minas de La Universidad del Azuay, al Ing. Leonardo Núñez, Ing. Eduardo Luna, Ing. Fernando Valencia. Ing. Patricio Feijoo por sus enseñanzas y conocimientos impartidos durante la trayectoria de la Carrera.

Wilson Homero Gualpa Urgilez

A Dios y la virgen por siempre cuidar de mí y darme salud.

Agradezco infinitamente a mi familia, amigos y todos quienes han formado parte de este gran camino.

De igual manera agradezco a todos los docentes que han formado parte de mi vida académica. A los ingenieros, Eduardo Luna, Patricio Feijoo, Leonardo Núñez, Fernando Valencia. Por la enseñanza impartida a lo largo de estos años.

Dixon Mauricio Guayllazaca Cordova

ÍNDICE CONTENIDOS

DEDICTORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE CONTENIDOS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 GEOLOGÍA DEL ECUADOR.....	4
1.2 GEOLOGÍA DE LA COSTA ECUATORIANA.....	4
1.2.1 Estratigrafía de la costa ecuatoriana.....	4
1.2.2 La cordillera Chongón – Colonche.....	4
1.3 ZEOLITA.....	5
1.3.1 Clasificación de las zeolitas.....	5
1.3.2 Propiedades de la zeolita.....	6
1.3.3 Zeolitas en el Ecuador.....	7
1.3.4 Aplicación y usos de las zeolitas.....	8
1.4 CEMENTO.....	8
1.4.1 Generalidades.....	8
1.4.2 Composición del cemento.....	9
1.4.3 Proceso de elaboración del cemento.....	10
1.4.4 Tipos de cemento.....	10
1.5 AGREGADOS FINOS.....	11
1.5.1 Generalidades.....	11
1.5.2 Características.....	12
1.6 AGUA.....	13
1.7 MORTEROS.....	14
1.7.1 Generalidades.....	14

1.7.2	Tipos de morteros	14
1.7.3	Dosificación de morteros de cemento	15
1.7.4	Clasificación de morteros de cemento.....	15
1.7.5	Usos del mortero	16
1.8	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	16
1.8.1	Generalidades	16
1.8.2	Importancia y práctica de la RCS.....	17
CAPÍTULO 2.....		18
TRABAJO EXPERIMENTAL		18
2.1	EQUIPOS	18
2.1.1	Molino de bolas	18
2.1.2	Tamices.....	19
2.1.3	Prensa	20
2.2	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	20
2.2.1	Obtención de la zeolita natural (zv)	21
2.2.2	Obtención del Cemento	25
2.2.3	Obtención de la arena	26
2.2.4	Agua	26
2.2.5	Dosificación para la elaboración de morteros de cemento.....	26
2.2.6	Dosificación para elaborar morteros cemento – zeolita.....	27
2.2.7	Curado	29
2.3	ELABORACIÓN DE MORTEROS	29
2.3.1	Proceso de elaboración de morteros	30
2.4	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	31
CAPÍTULO 3.....		33
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		33
3.1	RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN.....	33
3.2	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	34
3.2.1	Gráfico de tendencia.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		37
CONCLUSIONES.....		37

RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. ESTRUCTURA ZEOLITA</i>	6
<i>FIGURA 2. ESQUEMA GENERALIZADO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CEMENTO</i>	10
<i>FIGURA 3. ZEOLITA Y CARGA DE BOLAS DE SÍLICE PARA MOLIENDA</i>	21
<i>FIGURA 4. MUESTRA DE ZEOLITA PASANTE MALLA 100</i>	23
<i>FIGURA 5. TAMIZADO DE LA ZEOLITA POR EL MÉTODO MECÁNICO</i>	23
<i>FIGURA 6. MUESTRA DE ZEOLITA PASANTE MALLA 200</i>	24
<i>FIGURA 7. CEMENTO GUAPÁN TIPO GU</i>	25
<i>FIGURA 8. DOSIFICACIÓN DE ZEOLITA EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS</i>	27
<i>FIGURA 9. MEDICIÓN DEL MORTERO CON EL PIE DE REY</i>	32
<i>FIGURA 10. ROTURA DE LA MUESTRA M1 EN LA PRENSA</i>	32
<i>FIGURA 11. ESQUEMA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS</i>	33
<i>FIGURA 12. GRÁFICA DE TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE RCS DE LAS MUESTRAS</i>	36

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1. TIPOS DE ZEOLITA</i>	5
<i>TABLA 2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ZEOLITA</i>	7
<i>TABLA 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO</i>	10
<i>TABLA 4. LÍMITES DE GRANULOMETRÍA SEGÚN LA NORMA ASTM C 33-01</i>	12
<i>TABLA 5. TIPOS DE ARENA</i>	12
<i>TABLA 6. VALORES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS EN EL AGUA POTABLE</i>	13
<i>TABLA 7. VALORES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS EN AGUAS NO POTABLES</i>	14
<i>TABLA 8. USOS DE LOS MORTEROS DE CEMENTO</i>	15
<i>TABLA 9. INSTRUCCIONES PARA EL USO DE MOLINO DE BOLAS</i>	18
<i>TABLA 10. TAMICES NORMA ASTM E11</i>	20
<i>TABLA 11. MOLIENDA DE ZEOLITA</i>	22
<i>TABLA 12. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO</i>	26
<i>TABLA 13. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO – ZEOLITA (5%)</i>	27
<i>TABLA 14. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO – ZEOLITA (10%)</i>	28
<i>TABLA 15. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO – ZEOLITA (15%)</i>	28
<i>TABLA 16. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO – ZEOLITA (20%)</i>	28
<i>TABLA 17. DOSIFICACIÓN MORTEROS CEMENTO – ZEOLITA (25%)</i>	29
<i>TABLA 18. EQUIPOS Y MATERIALES PARA ELABORAR UN MORTERO</i>	30
<i>TABLA 19. RESULTADO DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</i>	33
<i>TABLA 20 PROMEDIO DE VALORES DE LA RCS DE CADA GRUPO DE MUESTRAS</i>	35

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO 1. SERIE DE TAMICES UTILIZADAS PARA EL TAMIZADO DE LA ZEOLITA.....</i>	<i>41</i>
<i>ANEXO 2. ARENA TAMIZADA PARA USO EN LAS DOSIFICACIONES DE MORTEROS</i>	<i>41</i>
<i>ANEXO 3. CONJUNTO DE MUESTRAS A LOS 28 DÍAS DE CURADO</i>	<i>42</i>
<i>ANEXO 4. MOLIENDA DE ZEOLITA EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA EN MINAS DE LAS UNIVERSIDAD DEL AZUAY.</i>	<i>43</i>
<i>ANEXO 5. MUESTRAS ANTES DE ENTRAR AL CURADO</i>	<i>43</i>
<i>ANEXO 6. MUESTRAS DE ZEOLITA MALLA 200, ZEOLITA MALLA 100 Y ARENA, DE IZQUIERDA A DERECHA</i>	<i>44</i>
<i>ANEXO 7. SACO DE ZEOLITA A UTILIZADA PARA EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</i>	<i>44</i>
<i>ANEXO 8. CONJUNTO DE MUESTRAS RESTANTES ANTES DEL CURADO DE 28 DÍAS.....</i>	<i>45</i>
<i>ANEXO 9. MEZCLA DE DOSIFICACIÓN</i>	<i>45</i>
<i>ANEXO 10. INFORME DE LABORATORIO DE LA ROTURA DE MUESTRAS.....</i>	<i>46</i>

VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (RCS) DE MORTEROS CON ADICIÓN DE ZEOLITA

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito estudiar la Zeolita natural como sustituto parcial al cemento mediante la elaboración de morteros, en mezclas de cemento y zeolita considerando la siguiente dosificación 1:2,75 para elaborar un total de 12 muestras que contengan agua-cemento-arena, y sustituyendo al cemento por zeolita natural hasta un 25% , luego de 28 días de curado de las muestras, se desarrollaron los ensayos a la resistencia a la compresión simple, determinando que las muestras con 100% de cemento presentan una resistencia de 12,75 MPa, comparando con la muestras que sustituyen un 10% de zeolita por cemento presentan una resistencia buena de 10.09 MPa, y comparando hasta un 25% de zeolita presenta una resistencia de 9,2 MPa, derivando su aplicación en la construcción de veredas con una resistencia requerida de 7 MPa, así como su uso en ornamentación y acabados de construcción.

Palabras clave: mortero, construcción, zeolita, dosificación, cemento, RCS, resistencia a la compresión simple.

VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (RCS) DE MORTEROS CON ADICIÓN DE ZEOLITA

ABSTRACT

The purpose of this research was to study natural zeolite as a partial substitute for cement by producing mortars with mixtures of cement and zeolite, considering the following ratio of 1:2.75 to prepare a total of 12 samples containing water, cement, and sand. The cement was partially replaced with natural zeolite up to 25%. After 28 days of curing, simple compression resistance tests were conducted on the samples. It was determined that the samples with 100% cement had a resistance of 12.75 MPa. In comparison, the samples that substituted 10% of the cement with zeolite had a resistance of 10.09 MPa, and those substituting up to 25% zeolite had a resistance of 9.2 MPa. This suggests its application in constructing sidewalks, which require a resistance of 7 MPa, as well as its use in ornamental and construction finishes.

Key words: mortars, construction, zeolite, dosaje, cement, RCS, simple compressive strength.

Wilson Homero Guallpa Urgilez
Dixon Mauricio Guayllazaca Cordova
Trabajo de Titulación
Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle
Junio, 2024

“Valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de morteros con adición de zeolita”

INTRODUCCIÓN

La búsqueda incansable por la mejora a la par de la tecnología e innovación, llevan a dar pasos antes no vistos. Los múltiples desafíos y problemas que enfrentan los distintos ámbitos como el de la minería, construcción y el mundo, son la base para la indagación en fuentes de materiales sostenibles e incremento de las propiedades mecánicas de los elementos tradicionales. Siendo así, el mortero el material utilizado en la construcción, objeto de estudio con el parámetro de la resistencia a la compresión simple (RCS), mismo que determina la calidad y durabilidad de un mortero.

La zeolita forma parte de los aluminosilicatos, es conocido por las diferentes aplicaciones que se le puede dar dentro de muchos contextos, por lo que en la minería es un mineral atrayente para la extracción, procesamiento y comercialización. Este mineral presenta múltiples características de entre las que destacan, la capacidad de absorción y liberación de agua, de igual manera el intercambio iónico. Por ende, dentro de la incorporación de aditivos en morteros, la utilidad de la zeolita ha sido particularmente aceptada, debido a lo esta puede generar dentro de un mortero tradicional.

El presente trabajo de investigación, llamado valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de morteros con adición de zeolita, busca y se enfoca en determinar los valores de resistencia que ofrezcan morteros con adición parcial de zeolita en relación al cemento con un tiempo de 28 días de curado. Esto dará como resultado el impacto que puede causar la zeolita como aditivo en el mortero. El trabajo experimental varía en las

dosificaciones, comenzando con un 5% de aditivo hasta un 25% del total de cemento dentro de la dosificación.

Con esto se podrán obtener valores que permitan el análisis y comparación de morteros tradicionales con morteros con sustitución de cemento por zeolita.

Es así, que este trabajo busca constituir una base probada en el contexto académico y científico, donde se estudie la aplicación en lo que corresponda de zeolita como mineral sustituto dentro de los morteros, con lo cual se contribuye a un sistema más eficiente y sostenible.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la resistencia a la compresión simple (RCS) de morteros, empleado zeolita como complemento al cemento.

Objetivos específicos

- Comparar la morfología y composición de la zeolita en relación con el cemento tipo GU.
- Determinar las propiedades físicas de la zeolita mediante la caracterización del mineral.
- Elaborar morteros con diferentes porcentajes de zeolita.
- Determinar la resistencia a la compresión simple en las muestras preparadas

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Geología del Ecuador

Estudios recientes sobre la geología del Ecuador se han enfocado en las características estructurales dominantes en el país, ofreciendo un enfoque hacia el fondo del océano pacífico frente a las costas ecuatorianas en donde la morfología está siendo cuidadosamente reconstruida a través de métodos paleo magnéticos, gravimétricos y batimétricos. (Arco, 2003)

El rasgo fisiográfico más sobresaliente del Ecuador continental es la cordillera de los Andes que lo corta de norte a sur generando tres regiones geográficas bien definidas en sentido este – oeste.

El marco geotécnico del Ecuador, está controlado por un mecanismo de subducción de placa oceánica, bajo litosfera continental, el cual se desplaza en un sentido oeste – este colisionando el continente sur americano.

El Ecuador en su territorio marino el aspecto fisiográfico más importante es la fosa oceánica, particularmente poca profunda, la costa o llanura costanera exhibe una cordillera de poca altitud. La cordillera costanera bordea aproximadamente la línea de costa entre los 2° de latitud sur y 1° de latitud norte y que presenta altitudes máximas de 800 m.

1.2 Geología de la costa ecuatoriana

1.2.1 Estratigrafía de la costa ecuatoriana

El antearco se encuentra seccionado por pequeñas cuencas disgregadas por accidentes tectónicos, generalmente fallas oblicuas a la fosa, las cuales poseen rellenos sedimentarios diferentes al menos en detalle.

1.2.2 La cordillera Chongón – Colonche

La cordillera Chongón – Colonche dominado así por el desarrollo orográfico de dirección NNO-SSE, desde Guayaquil hasta el sector de Olón – Pedro Pablo Gómez con dirección N 100 °, se caracterizan por la presencia de rocas ígneas de la formación, San Lorenzo, Guayaquil, Cayo y Piñón, posee alrededor de 1000 km² en donde existen

yacimientos de rocas sedimentarias con la presencia de zeolitas naturales del tipo heulandita y clinoptilolita (Morante, 2004).

La CCC es una cadena montañosa de altitud media, la cual se encuentra entre los 400 y 600 metros, sin embargo, hay unos picos con una altura mayor a los 700 metros.

1.3 Zeolita

Las zeolitas naturales pertenecen a la familia de aluminosilicatos, cristalinos e hidratados de aluminio, poseen en su interior cationes alcalinos y alcalino térreos, su composición interna y ordenamiento estructural la convierte en un sistema abierto y activo que le permite la incorporación y liberación de agua sin sufrir cambios en su estructura cristalina.

la zeolita es una roca ígnea originario del proceso de transformación de lava derretida que ocurre tras la erupción de un volcán cuando entra en contacto con el océano, tal fusión provoca una reacción química entre el magma caliente y la solución salina del mar dando lugar a la formación de este material el cual se endurece con el paso del tiempo.

1.3.1 Clasificación de las zeolitas

La clasificación de las zeolitas alrededor del mundo está entre más de 40 clases de zeolitas incluyendo naturales y sintéticas, las cuales poseen diferentes propiedades físicas y químicas.

Tabla 1. Tipos de zeolita

Tipos de zeolitas
Laumontita
Stilbita
Phillipsita
Chabazita
Thomsonita
Modernita

Epistolita

Analcima

Fuente: (Curi et al., 2006).

1.3.2 Propiedades de la zeolita

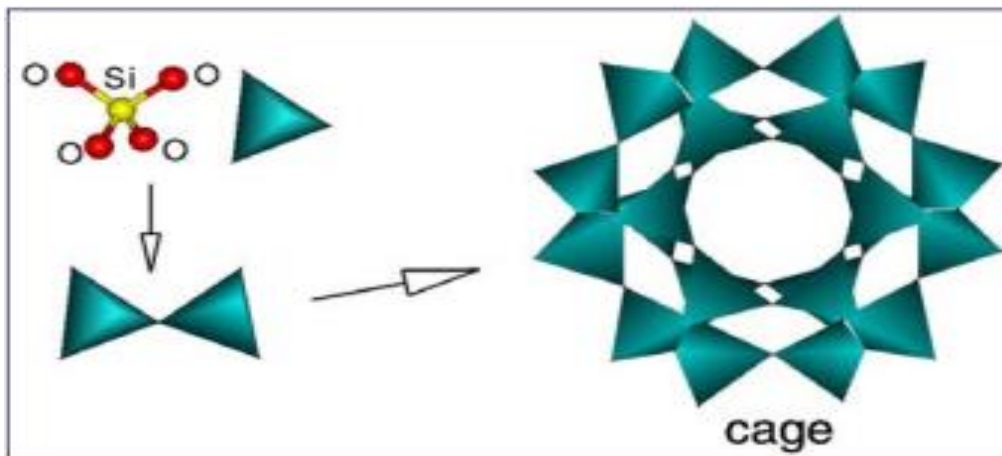
La zeolita presenta diferentes caracterizaciones con cualidades exclusivas para la aplicación práctica industrial y domestica según las necesidades. Las más importantes son:

- En deshidratación, posee apreciable volumen de vacíos y baja densidad.
- Cuando se deshidrata su marco estructural cristalino es estable.
- Cualidades de intercambio de cationes.
- En los cristales deshidratados se manifiesta paneles moleculares.
- Potencial absorción de vapores y gases.

1.3.2.1 Estructura de la zeolita

Las zeolitas tienen redes tridimensionales, en las que todos los átomos de oxígeno forman parte simultáneamente a dos tetraedros de SiO_4 . (que forman redes unidas tridimensionalmente). Se constituye así el esqueleto de la estructura cristalina (ver Figura 1). Esta estructura es menos compacta que la de los feldespatos (Ueda, 1980)

Figura 1. Estructura zeolita



Fuente: (Ueda, S. et al. 1980).

Las zeolitas, a diferencia de otros tectosilicatos ($d= 2,6-2,7 \text{ g/cm}^3$), tienen estructuras abiertas ($d= 2,1-2,2 \text{ g/cm}^3$); el volumen de los espacios vacíos puede alcanzar el 50%. Cada zeolita tiene una estructura característica y, por tanto, propiedades físicas y químicas específicas.

1.3.2.2 Propiedades físicas de la zeolita

Tabla 2. Propiedades físicas de la zeolita

Propiedades físicas generales de la zeolita	
Dureza	3 – 4
Estabilidad térmica	Alta
Color	Blanca o verde
Densidad	2 – 2,3 gr/cm^3
Diámetro de poro	2 – 12 angstroms
Diámetro de cavidades	6 – 12 angstroms

Fuente: (Garcés M, s.f.).

1.3.3 Zeolitas en el Ecuador

La geología del Ecuador los depósitos de zeolitas de Ecuador provienen de procesos vulcano sedimentarios, siendo la heulandita y cliptonita con mayor proporción mientras que la modernita y laumotita en menor proporción en los depósitos localizados en la formación Cayo y la Cordillera Chongón – Colonche.

Los estudios geológicos realizados en la investigación de yacimientos de zeolita en el Ecuador los cuales se han centrado en la costa ecuatoriana, principalmente en la cordillera Colon Colonche debido a que su Génesis proviene de la deposición de sedimentos marinos y volcanoclásticos (Mustelie, 2016).

1.3.4 Aplicación y usos de las zeolitas

La utilización de zeolitas se basa en reducir el alto impacto medioambiental contaminado, el aire y agua son los más afectados. Por eso se buscan nuevas técnicas de utilización de materiales ecológicos con el fin de mitigar los efectos nocivos de los procesos industriales. Así como en la aplicación en la industria de la construcción para elaborar hormigones ligeros y de alta calidad, principalmente es utilizada en China.

- 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.

1.4 Cemento

1.4.1 Generalidades

Uno de los sectores más representativos en cuanto al uso recurrente del cemento es el de la construcción, además de ser el que más importante y que genera dinamismo dentro de la economía. No obstante, se puede acotar que con el desarrollo de las tecnologías y avances el cemento ha pasado a formar parte de la industria minera, sirviendo especialmente en las infraestructuras subterráneas con el llamado shotcrete (hormigón lanzado). Por ende, consideramos al cemento como la principal materia prima dentro de la construcción.

Además, según el Censo Nacional Económico 2010, la industria de la construcción cuenta con alrededor de 2001 entidades dedicadas a la elaboración de cemento u otros conglomerantes de las cuales en porcentaje y denominación son los siguientes:

- 62%: elaboración de cemento, hormigón, yeso y cal.
- 25%: fabricación de materiales de construcción de arcilla.
- 10,4%: corte, tallado y acabado de piedra.
- 3%: extracción de piedra, arena y arcilla. (Peña et al., 2012)

Ahora bien, se puede definir al cemento como el material que tiene propiedades físico-químicas de carácter adhesivas-cohesivas, mismas que condicionan el aglutinamiento de fragmentos minerales con la finalidad de formar un material compacto, dentro de los fragmentos recurrentemente utilizados tenemos grava, arena, etc. Este componente y materia

prima esencial es utilizado dentro de la construcción debido a la gran resistencia que ofrece (Neville, 2000).

1.4.2 Composición del cemento

Dentro de la materia prima empleada para la elaboración del cemento portland se tienen la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, dichos componentes se mezclan entre sí en un horno para formar compuestos más complejos hasta que se pueda conseguir un estado de equilibrio químico de los productos. No obstante, el equilibrio varía durante el enfriamiento lo que afecta directamente el grado de cristalización y cantidad de material amorfo en el clínker enfriado. Sin embargo, con esta premisa se puede considerar que el cemento se encuentra en un estado congelado (Neville, 2000).

Es así, las teorías acerca de cómo se encuentra constituido el cemento portland y las mezclas que integran este, son múltiples y variadas. Teniendo en cuenta que en la actualidad se han podido corroborar algunas de ellas y descartar otras, además, de seguir una línea de estudio entre teorías donde la una complementa a la otra. Por ende, a continuación, se presenta algunas de las teorías.

Le Chatelier sustentaba que el elemento principal del cemento era el silicato tricálcico. Por su parte, Törnebohm corroboró este acierto mediante el análisis en microscopio donde sostuvo que el mineral Alita, con propiedades iguales a las del silicato tricálcico, era el motivo del fraguado y endurecimiento del cemento portland. Así, varios autores fueron elaborando teorías que dieron a conocer los principales elementos del cemento (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004).

A partir de aquello, se considera que los silicatos que se encuentran en el cemento difieren de ser puros, debido que contienen ínfimas cantidades de óxidos en los sólidos.

Los elementos principales del cemento se pueden denotar a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición química del cemento

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Aluminoferrita tetracálcica	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

Fuente: (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004).

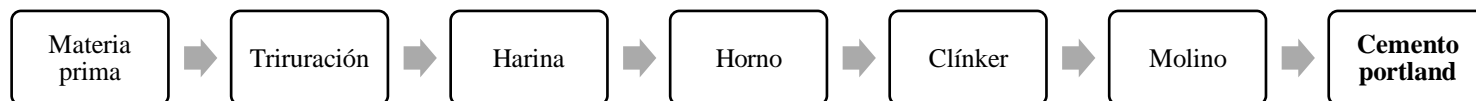
1.4.3 Proceso de elaboración del cemento

Por consiguiente, el proceso de fabricación del cemento es un laboreo a escala industrial realizado a gran escala, esta elaboración se basa en:

- Obtención, acopio y preparación de la materia prima (caliza), que luego serán llevadas al proceso de molienda para la obtención del crudo.
- Preparación y almacenamiento de combustibles.
- Cocción del crudo 1450°C , con lo cual se obtiene el clínter de cemento.
- Molienda del clínter con demás compuestos (puzolana, yeso, etc.) para obtener el cemento.
- Almacenamiento, empaclado y venta de cemento.

Con esto, se presenta lo siguiente:

Figura 2. Esquema generalizado del proceso de elaboración de cemento



Fuente: Tomado de CementosInka.

1.4.4 Tipos de cemento

- **Cemento Portland Ordinario (OPC)**

Conocido como OPC, es el cemento fabricado y de uso generalmente común en labores de construcción y demás. Dentro de los usos que se le da al mismo se tiene lo siguiente: Hormigón, Mortero, Yeso.

- **Cemento Portland Puzolana (PPC)**

Para la obtención del PPC, se utiliza el cemento Portland molido con Clinker puzolánico. Este material es recurrente en estructuras marinas, alcantarillados, muelles y puentes.

- **Cemento resistente a los sulfatos**

Como bien su nombre lo indica este cemento está elaborado para soportar sulfatos en el hormigón. Este conglomerante se utiliza mayormente para construcciones en el suelo o aguas subterráneas con contenido de 0,2% o 0,3% g/l de sulfato de calcio.

- **Cemento de fraguado rápido**

El cemento de fraguado rápido está relacionado con las labores donde se necesita como su nombre lo indica un fraguado rápido, tales como estructuras en situaciones frías, lluviosas o bajo el agua.

- **Cemento de escoria de alto horno**

Utilizado en construcciones con alta demanda económica, se lo fábrica mediante la trituración del Clinker con un aproximado del 60% de escoria, da como resultado un cemento similar al Portland (CHRYSO, n.d.).

1.5 Agregados finos

1.5.1 Generalidades

Un agregado fino está definido como el producto procedente de la descomposición de rocas volcánicas a lo largo del tiempo, este agregado esta consignado por su tamaño característico de pasante tamiz 3/8" y retenido malla número 200. (HOLCIM ECUADOR S.A, n.d.)

Además, el agregado fino puede ser una arena manufacturada procedente de trituración en planta, artesanal, o en su defecto una mezcla de ambas procedencias.

1.5.2 Características

1.5.2.1 Granulometría

Un agregado fino habrá de cumplir los límites que se muestran en la Tabla 1.4

Tabla 4. Límites de granulometría según la norma ASTM C 33-01

Tamiz	% Pasante
3/8" (9.5 mm)	100%
#4 (4.75 mm)	95 a 100%
#8 (2.36 mm)	80 a 100%
#16 (1.18 mm)	50 a 95%
#30 (0.6 mm)	25 a 60%
#50 (0.3 mm)	10 a 30%
#100 (0.15 mm)	2 a 10%

Fuente: American Society for Testing Materials. (n.d.). Annual book of ASTM standards. Section 4, Construction. Vol. 04.02, Concrete and aggregates. ASTM International.

Por ende, el agregado fino está exento de poseer más del 45% retenido entre dos tamices consecutivos, además, de tener un módulo de finura de entre 2.3 y 3.1, de no cumplir con esto se deberá tener en consideración las normas pertinentes (Sarg Rodríguez, 2010).

1.5.2.2 Clasificación de la arena por su módulo de finura

Tabla 5. Tipos de arena

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.90 – 3.20 gramos
Media	2.20 – 2.90 gramos
Fina	1.5 – 2.20 gramos
Muy fina	1.50 gramos

Fuente: (Gaitan Orozco, 1996).

De entre aquellas, se pueden mencionar otras características de los agregados que pasan a formar parte importante a la hora de la utilización de un agregado fino en la preparación de morteros u otros.

- Limpieza (materia orgánica, limos, arcillas, etc.).
- Densidad (gravedad específica).
- Absorción y porosidad.
- Forma de partículas (Cañas, n.d.).

1.6 Agua

Es el agua el recurso importante dentro la elaboración de un mortero, debido a que brinda características importantes en el proceso productivo, necesarios para la obtención de un producto de calidad, y son; hidratación del cemento, trabajabilidad, adherencia, curado, etc.

Por ende, el líquido deberá estar libre de sustancias suspendidas o disueltas que pudiesen alterar el proceso productivo. Lo recomendable dentro de un proceso de elaboración de mortero es la utilización de agua potable que es incolora, inodora, insípida, fresca y libre de materia orgánica.

No obstante, a veces las problemáticas que se presentan respecto al agua en el concreto o mortero, provienen de la cantidad, mas no de la calidad. Para lo cual, se toma acción con otro tipo de ensayos y pruebas relacionados con aquello (Proaño Cadena, 2009).

A continuación, se presentan dos tablas que representan los límites de contenido de sustancias dentro del agua potable y agua no potable, respectivamente:

Tabla 6. Valores máximos de sustancias en el agua potable

Sustancia	Miligramos por litro
Cloro	60
Ácido sulfúrico	50
Cal	150
Magnesia	50
Materia orgánica	3

Amoniaco libre por destilación	0.02
Ácido nítrico	20

Fuente: (Proaño Cadena, 2009).

Tabla 7. Valores máximos de sustancias en aguas no potables

Sustancia	Gramos/litro
Anhídrido sulfúrico	0.3
Materia orgánica	0.03
Sulfuros expresados en azufres	0.05
Cloruros	10
pH	6<pH<8

Fuente: (Proaño Cadena, 2009).

1.7 Morteros

1.7.1 Generalidades

Este material por así llamarlo, ha estado netamente involucrado en el campo de la construcción, teniendo gran relevancia dentro de la mampostería como material de pega y en la mampostería estructural que se ha venido incorporando a lo largo de los años.

Es así, el mortero se define como una mezcla uniforme entre un material conglomerante (cemento), un material componente (agregado fino o arena) y el agregado líquido (agua generalmente), además, en ocasiones se recurre al uso de aditivitos para la mezcla.

1.7.2 Tipos de morteros

Por el proceso de endurecimiento se puede clasificar en dos: aéreos que se consolidan al aire perdiendo agua por secado y fraguan lentamente, e hidráulicos que endurecen bajo el agua dado que su composición permite que incrementen las resistencias iniciales.

Dentro de estos dos tipos podemos diferenciar los siguientes:

- Morteros de yeso: estos contienen yeso hidratado con agua, lo cual es la principal característica de los mismos.
- Mortero de cal y cemento: utilizados y aconsejables cuando se requiere trabajabilidad, retención de agua y alta resistencia.
- Morteros de cemento: es el generalmente usado para trabajos de mampostería, tiene altas resistencias y su trabajabilidad es variable. La mezcla común y conocida es de arena, cemento y agua (GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, 2003).

1.7.3 Dosificación de morteros de cemento

La siguiente Tabla 1.8, proporciona información acerca de las dosificaciones y esos que se le dan a un mortero de cemento.

Tabla 8. Usos de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico utilizado para rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores.
1:4	Pega de ladrillos en muros y baldosines.

Fuente: (GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, 2003).

1.7.4 Clasificación de morteros de cemento

Según el uso que se le da se clasifican de la siguiente manera:

- Morteros de relleno de juntas entre distintos elementos constructivos.
- Morteros con superficie lisa y uniforme, de revestimiento o revoque.
- Morteros de pega, utilizados para mantener elementos unidos en alguna posición de interés.
- Morteros para mampostería estructural, los cuales cuentan con una resistencia elevada capaz de soportar cargas a compresión.

1.7.5 Usos del mortero

Como se había mencionado anteriormente un mortero puede cumplir con funciones dentro de la construcción estructural o en mampostería estructural.

Por ende, existen morteros que no cumplen con función estructural y se designan a otros usos.

- Morteros de pega: debido a su uso dentro de la construcción donde debe cumplir con una resistencia conforme a soportar esfuerzos de tensión y compresión. Este debe tener y cumplir con ciertas condiciones.
- Morteros de relleno: debe contar con una resistencia apropiada, dado que se utilizan para llenar las celdas de elementos de mampostería estructural.
- Morteros de recubrimiento: no requieren una resistencia determinada, dado que su principal uso no es estructural, sino de esbeltez, o en su defecto para recubrir superficies que luego se les aplicara pintura (GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, 2003).

1.8 Resistencia a la compresión simple

1.8.1 Generalidades

Conocer parte de las propiedades mecánicas de los materiales expuestos a compresión desde sus características específicas y materiales cementantes que las conforman, entre otros, es particularmente poco común de obtener. Por ende, lo recurrente es acudir o deducir aquello mediante ensayos de laboratorio, caso común es el llamado ensayo de resistencia a la compresión simple de ahora en adelante RCS.

Se le conoce como ensayo de RCS a la capacidad que tiene un objeto o material de soportar una carga por unidad de área y se la encuentra denominada mediante el esfuerzo que se requiere aplicar al material hasta ocasionar su rotura. Generalmente las unidades utilizadas para este ensayo se encuentran en kilogramo-fuerza/centímetro cuadrado (kg/cm^2), MPa. (Oyanguren & Monge, 2004)

La RCS es la valoración que se toma al aplicar una carga específica en una dirección dada, recalcando que no se aplica ningún otro esfuerzo en otra dirección. Este ensayo forma parte de una gran cantidad de pruebas realizadas con la finalidad de obtener una clasificación

de las propiedades geomecánicas, físicas del material u objeto analizado (Galván Ceballos & Serón Gáñez, 2020).

En lo referente a fórmulas se tiene lo siguiente, donde se expresa la RCS de una probeta:

$$\sigma_c = \frac{p}{A} \quad (1) \quad (\text{Tomado de, CEMEX})$$

Donde:

- P: carga de rotura (N).
- A: área (m).
- σ_c : resistencia a la compresión simple de una probeta.

1.8.2 Importancia y práctica de la RCS

Dicho ensayo es la práctica y obtención de la resistencia a la compresión uniaxial que ofrecen los materiales, ya sea en probetas cilíndricas o en forma de paralelepípedo según sea el caso. Habitualmente estas muestras se pueden obtener de distintas maneras, a partir de testigos para el caso de minería, o en su defecto en laboratorios para el caso de análisis de la RCS de los materiales (Oyanguren & Monge, 2004).

La práctica de la RCS es relevante, debido que permite clasificar el material según su resistencia, criterio muy importante a la hora de establecer los parámetros de calidad y durabilidad de los materiales. Este ensayo suele parecer simple, no obstante, tanto su proceso como la interpretación de resultados son factores donde se requiere de cuidado, debido a que por alguna u otra circunstancia la RCS puede verse alterada.

Estos ensayos de RCS se realizan en laboratorios donde se cuente con los dispositivos especializados y técnicos para el caso, no obstante, es oportuno mencionar que un equipo de ensayos de compresión es una máquina de pruebas universal (MEM), la cual está creada específicamente para la determinación del comportamiento de resistencia y deformación de un material bajo una compresión (tipo prensa).

Existen dos tipos de máquinas pertinentes para dicho ensayo, la común constituida de una célula de carga, uno o varios travesaños que serán los encargados de aplicar la compresión. Por otro lado, la electrónica la cual cuenta con un sistema de accionamiento que es controlado mediante el software de ensayo, donde se puede definir los parámetros necesarios para el funcionamiento de la misma, acorde a las normas de ensayo establecidas (Zwick Roell, n.d.).

CAPÍTULO 2

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 Equipos

2.1.1 Molino de bolas

La Zeolita utilizada para la elaboración de morteros no cumple con las características granulométricas necesarias, por lo que se tuvo que realizar una segunda etapa de conminución, para que finalmente el material resultante sea pasante malla 200.

El molino está compuesto por un motor eléctrico, que cumple con la función de girar el eje de soporte horizontal, en donde el cual va asentado el cilindro con los medios molidores y el material.

Tabla 9. Instrucciones para el uso de molino de bolas

Instrucciones de uso
Retirar la tapa del cilindro
Ingresar el material al ser molido con las bolas de sílice
Colocar el cilindro en los ejes móviles del equipo
Presionar el botón de encendido para ejecutar la labor
Una vez ejecutada la labor de molienda presionar el botón del apagado
Retirar cuidadosamente el cilindro conjuntamente con los medios molidores y el material en la criba
Limpiar el equipo

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Tamices

La conceptualización base de un tamiz, es una malla con alambres entrecruzados, donde se forman espacios cuadrados entre sí. Un juego de tamices sirve para realizar ensayos granulométricos, para lo cual los tamaños de huecos deben estar contenidos en una serie normalizada (Solís Chávez, 2004).

Dentro de esto, se puede identificar la abertura del tamiz, que es e indica el diámetro de la malla, por donde el mayor diámetro de partícula pasará a través de malla.

Se consideran los tamices por el tipo siendo los principales los siguientes:

- Tamiz de tejido metálico.
- Tamiz de chapa perforada.

He aquí, los tamices definidos por el American Society for Testing and Materials (ASTM) son designados por medio de pulgadas y números. Dentro de aquello, se pueden identificar variedad de tipos, tamaños y formas. No obstante, los principales parámetros para definir un tamiz son; tamaño de malla, altura, diámetro y material de elaboración. Además, el principio de tamizado se basa en la obtención de material en dos porciones, la primera llamada retenida, siendo esta la que no ha pasado por la abertura de la malla y la segunda expuesta al contrario como la que ha pasado aquella malla.

Para efectos del caso, el tamizado tiene distintos métodos por los cuales se puede obtener el producto deseado, aquí se explican dos de los métodos comunes para la separación de áridos o materiales de ensayos en laboratorio.

- Tamizado manual: consiste en un movimiento de oscilación al tamiz, con la finalidad de que todo el material pueda pasar la malla deseada.
- Tamizado mecánico: es la incorporación de tamizadoras electromagnéticas, orbitales o de golpeteo, las cuales facilitan la actividad mediante el uso de vibración.

Por otra parte, el tiempo de tamizado es un factor importante dentro del proceso, sin embargo, existe la inexactitud entre la cantidad de partículas, no se puede establecer un tiempo perfecto, por lo cual es adecuado realizar pruebas en laboratorio para establecer un tiempo considerable para el tipo de material que se esté trabajando (CISA, n.d.).

A continuación, se presenta una tabla donde se considera los tamices bajo la norma ASTM E11. Además, se recalca el uso de la malla, No. 200 y No. 50, para el desarrollo de este trabajo, concerniente al tamizado de Zeolita Natural y arena, respectivamente.

Tabla 10. tamices norma ASTM E11

# Malla	Tamaño (abertura)
No. 4	4,75 milímetros
No. 8	2,36 milímetros
No. 20	850 micrones
No. 50	300 micrones
No. 100	150 micrones
No. 200	75 micrones

Fuente: (Núñez, 2008).

2.1.3 Prensa

Una prensa es una maquina con la capacidad de aportar con grandes cantidades de energía (Fuerza*Recorrido) de forma controlada para lo que se requiera (Bavaresco, n.d.).

Dentro del desarrollo experimental de este trabajo de investigación, se recurrió al uso externo de CONCRETO 2000X, esta es una máquina para el desarrollo de pruebas de compresión. La principal característica es la capacidad de compresión sin causar fracturas explosivas. Se uso esta máquina con la finalidad de obtener la RCS en MPa, de los morteros realizados en este trabajo (Shimadzu, 2024).

2.2 Materiales y metodología

Para la realización del presente proyecto experimental se tuvo como base una aplicación de una metodología experimental, bibliográfica e investigativa la cual nos permitirá cumplir con los objetivos planteados.

2.2.1 Obtención de la zeolita natural (zv)

Este producto vino en una presentación de un saco verde de 25 kg, el cual se obtuvo directamente de la planta de beneficio de la empresa Zeonatec S.A. ubicada en el cantón Isidro Ayora a unos 20 km de distancia, a 45 minutos aproximadamente de la planta de procesamiento, almacenaje y distribución de esta empresa localizada en el Km. 1.8 Vía a las Mercedes.

2.2.1.1 Preparación de la muestra

El material obtenido de la planta de beneficio posee su estructura y tamaño granular de 100 micrones, el cual no cumple con las especificaciones y características necesarias para realizar los ensayos propuestos, por lo que se tuvieron que realizar procesos conminución y tamizado con la finalidad de que el material que pase malla 200 ($75\mu\text{m}$) sea el correcto para poder realizar los análisis experimentales.

Figura 3. Zeolita y carga de bolas de sílice para molienda



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el proceso de conminución del mineral y poder obtener un material fino y que este pueda cumplir con las especificaciones necesarias, se colocó un total 3 kg

aproximado de material en el molino de bolas, con un porcentaje de bolas de sílice del 55%, para el proceso de molienda se dejó trabajar al equipo por un tiempo de 10 min, en cada molienda que se realizó.

Tabla 11. Molienda de zeolita

No. Molienda	Cantidad ingresada al molino	Tiempo de molido
1	400	12
2	350	10
3	250	10
4	300	10
5	300	10
6	400	12
7	400	12

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar el proceso de conminución descrito anteriormente y con la cantidad de material necesario, se realizó la caracterización granulométrica del material resultante de molienda por medio del método de tamizado.

2.2.1.2 Tamizado de la zeolita

Luego de realizar el proceso de molienda descrito anteriormente y con la cantidad de material necesario, se realizó la caracterización granulométrica del material resultante de molienda por medio del método de tamizado.

Figura 4. Muestra de zeolita pasante malla 100



Fuente: Elaboración propia.

Su utilizaron los tamices pasante malla 100 y malla 200, con la finalidad de obtener una cantidad optima de material pasante malla 200 para poder sustituir parcialmente el cemento en las muestras.

Figura 5. Tamizado de la zeolita por el método mecánico



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un total de 5 tamizados del material obtenido del proceso de molienda, el tiempo usado en el tamiz fue de 4 min.

Figura 6. Muestra de zeolita pasante malla 200



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3 Densidad de la zeolita

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

En donde:

ρ : peso específico

m: masa inicial

v1: Volumen inicial

v2: Volumen final

$$\rho = \frac{110}{520 - 500}$$

$$\rho = 5,5 \text{ g/cm}^3$$

2.2.2 Obtención del Cemento

Dentro del trabajo de investigación elaboración de morteros con adición de zeolita se estableció el uso del Cemento Guapán como principal y único conglomerante dado las características e información que se presenta a continuación.

El cemento hidráulico tipo GU Guapán, perteneciente a la empresa Unión Cementera Nacional (UCEM), producida en la planta de Cemento Guapán que se encuentra ubicada en el cantón Azogues, provincia del Cañar, Ecuador.

Los distintos procedimientos para la elaboración del cemento están en base a las normas Técnicas Ecuatorianas y bajo el Sistema de Gestión de Calidad establecido en la Norma ISO 9001.

Propiedades del Cemento Guapán:

- Mayor resistencia a la compresión, superando en un 30%, los valores de resistencia establecidos en la Norma INEN 2380.
- Mayor resistencia al ataque de sulfatos.
- Mayor impermeabilidad.
- Menor calor de hidratación. (UCEM, n.d.-b)

Figura 7. Cemento Guapán tipo GU



Fuente: (UCEM, n.d)

2.2.3 Obtención de la arena

La arena utilizada para la presente investigación es proveniente de la mina de materiales y pétreos del cantón Santa Isabel, localizada en la provincia de Azuay, Ecuador.

Esta arena se utilizará con fines experimentales, y mediante el tamizado manual con tamices de la serie HUMBOLDT, normados con la U.S.A. STANDARD SIEVE, se obtendrá arena pasante malla #50. La cual servirá para el desarrollo de la presente investigación.

2.2.3.1 Preparación de la muestra

La arena que se obtuvo, mostro distintos tamaños de partículas, por lo cual se procede mediante el tamizado a la separación de las mismas. Para esto se utiliza la malla No. 50 (300 micrones), como ya se mencionó en el apartado anterior. Por ende, el proceso a seguir es tomar la muestra de arena, colocar en el tamiz malla No. 50 conjuntamente con la tapa y base del mismo, luego mediante el método manual de tamizado mencionado en el apartado 2.1.2., se obtiene la granulometría adecuada. Se sigue el proceso hasta obtener 5000 gramos de arena limpia y de granulometría adecuada para el trabajo experimental.

2.2.4 Agua

La incorporación de agua debe ser la adecuada el cual generara un beneficio en la hidratación de todo el conglomerante en la etapa de fraguado y su posterior endurecimiento.

2.2.5 Dosificación para la elaboración de morteros de cemento

La dosificación para realizar morteros se estableció de la siguiente manera 1:2,75. 1 parte de cemento, 2,75 partes de arena.

2.2.5.1 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Tabla 12. Dosificación morteros cemento

Materiales	Cantidad
Cemento	200 gr
Agua	150 cm^3

Arena	550 gr
-------	--------

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6 Dosificación para elaborar morteros cemento – zeolita

La dosificación para realizar morteros se estableció de la siguiente manera 1:2,75. 1 parte de cemento, 2,75 partes de arena. No obstante, se ira sustituyendo parcialmente cemento con porcentajes de zeolita.

Figura 8. Dosificación de zeolita en la elaboración de morteros



Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.1 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Dosificación con zeolita como sustituto parcial del 5 % del cemento

Tabla 13. Dosificación morteros cemento – zeolita (5%)

Materiales	Cantidad
Cemento	190 gr
Zeolita	10 gr
Agua	150 cm ³
Arena	550 gr

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.2 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Dosificación con zeolita como sustituto parcial del 10 % del cemento

Tabla 14. Dosificación morteros cemento – zeolita (10%)

Materiales	Cantidad
Cemento	180 gr
Zeolita	20 gr
Agua	150 cm^3
Arena	550 gr

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.3 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Dosificación con zeolita como sustituto parcial del 15 % del cemento

Tabla 15. Dosificación morteros cemento – zeolita (15%)

Materiales	Cantidad
Cemento	170 gr
Zeolita	30 gr
Agua	150 cm^3
Arena	550 gr

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.4 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Dosificación con zeolita como sustituto parcial del 20 % del cemento

Tabla 16. Dosificación morteros cemento – zeolita (20%)

Materiales	Cantidad
Cemento	160 gr
Zeolita	40 gr

Agua	150 cm ³
Arena	550 gr

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.5 Dosificación 1:2,75 (2 morteros)

Dosificación con zeolita como sustituto parcial del 25 % del cemento

Tabla 17. Dosificación morteros cemento – zeolita (25%)

Materiales	Cantidad
Cemento	150 gr
Zeolita	50 gr
Agua	150 cm ³
Arena	550 gr

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7 Curado

Luego de haber realizado los ensayos respectivos en los morteros, se procedió a ejecutar el proceso de curado en las diferentes probetas el mismo que nos ayudara en la conservación de un adecuado contenido de humedad y temperatura. Y así realizar el debido análisis aplicando normativa nacional NTE INEN e internacionales ASTM vigentes en la actualidad.

Las muestras permanecieron 28 días cubiertas totalmente de agua.

2.3 Elaboración de morteros

Con la finalidad de seguir con el trabajo de investigación, se procede a elaborar las muestras de morteros que servirán para la obtención de la RCS con las distintas dosificaciones. Es posible mencionar que estos ensayos se realizaron en el laboratorio de ingeniería en Minas y de ingeniería Civil de la Universidad del Azuay.

Tabla 18. Equipos y materiales para elaborar un mortero

Equipos y materiales utilizados	
Guantes	Mandil
Gafas de seguridad	Moldes de madera
Recipientes plásticos	Espátula
Balanza electrónica	Pie de rey
Destornillador	Tamices

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Proceso de elaboración de morteros

Gradación de arena: Ver apartado 2.2.3.1.

Preparación zeolita: Ver apartado 2.2.1.1.

Mezclado de materiales: obtenidos los materiales con la especificaciones y pesos respectivos para las distintas dosificaciones, se realiza la mezcla en seco hasta observar que tanto el cemento, arena para el caso de morteros sin adición de zeolita, las partículas se encuentren distribuidas uniformemente entre sí, de igual manera para las dosificaciones de cemento, zeolita y arena. Luego en pequeñas cantidades se agrega el agua de a poco hasta obtener una mezcla con características que permitan un fácil moldeado.

Llenado y compactado en los moldes: terminado el amasado manual, se dispone al llenado manual en los moldes de madera, después se agita con la finalidad de generar pequeños golpes en la superficie del molde para quitar el exceso de burbujeo en la mezcla. Y con la ayuda de la espátula se aplanan la cara expuesta de la muestra.

Fraguado: siguiendo recomendaciones generales todas las muestras reposaron por 24 horas en un lugar fresco y seco, a temperatura ambiente de la ciudad de Cuenca, para tener un óptimo secado y endurecimiento de las mismas.

Desenfrado e identificación de las muestras: con un destornillador estrella se procedió a desmoldar las muestras, poniendo especial cuidado para evitar dañar las muestras. Luego se identificaron cada una de las muestras, de acuerdo a su dosificación.

Curado de las muestras: Ver apartado 2.2.7.

2.4 Ensayos de resistencia a la compresión simple

El ensayo a la resistencia a la compresión se realizó en el laboratorio de geotecnia y materiales de la Universidad Estatal de Cuenca.

Se utilizó la prensa Ver apartado 2.1.3. 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 12 muestras fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión simple.

Materiales para el ensayo

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

Para realizar el ensayo a la resistencia de la compresión simple se procedió a determinar el peso de cada muestra.

La medición de las muestras se realizó utilizando un pie de rey, tomando el ancho y espesor de las muestras para determinar el área de contacto.

Figura 9. Medición del mortero con el pie de rey



Fuente: Elaboración propia.

El mortero fue colocado en la prensa, y la centramos perfectamente, una vez centrada el mortero se procedió a aplicar una carga a una velocidad constante hasta que falle.

Figura 10. Rotura de la muestra M1 en la prensa



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados de la compresión

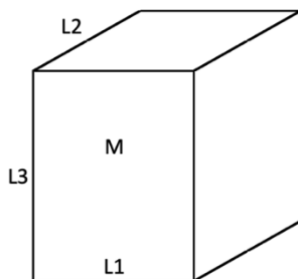
Mediante el uso externo de una máquina de compresión (Concreto 2000x), se obtuvieron los resultados que se establecen en la Tabla 3.1, donde en la columna 8 se estipula ya calculada la Resistencia a la carga máxima de cada uno de los morteros con las dosificaciones establecidas en el apartado 2.2.5 y 2.2.6, la RCS se encuentra expresada en MPa.

Tabla 19. Resultado de ensayos de resistencia a la compresión

Muestra	Masa (gr)	Lado L1 (mm)	Lado L2 (mm)	Lado L3 (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (N)	Resistencia a la carga máxima (MPa)
M1	422	50	40	100	2000	23800	11.9
M1,1	419	50	39	99	1950	26600	13.6
M2	425	51	43	99	2193	22800	10.4
M2,2	437	49	43	101	2107	22300	10.6
M3	424	49	41	99	2009	21800	10.9
M3,3	436	49	39	100	1911	22300	11.7
M4	440	49	40	99	1960	20400	10.4
M4,4	426	49	44	100	2156	20200	9.4
M5	442	51	40	100	2040	19700	9.7
M5,5	414	51	39	100	1989	18300	9.2
M6	443	50	45	100	2250	17800	7.9
M6,6	412	49	39	100	1911	16800	8,8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Esquema de las muestras ensayadas



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Interpretación y análisis de resultados obtenidos

Muestra M1; M1,1

Este par de muestras, fueron la base para la experimentación del proyecto, es decir en esta dosificación establecida, es lo que generalmente se realiza, una mezcla típica de cemento, arena y agua. Por ende, fue nuestra guiada para contrastar resultados en base a esta.

La muestra M1 tuvo una resistencia de 11.9 MPa, mientras que la muestra M1,1 obtuvo una resistencia de 13.9 MPa, la sumatoria y promedio de estas dos nos da un total de 12.75 MPa, lo cual representa el valor de comparación.

Muestra M2; M2,2

La dosificación para el caso de estas muestras fue la del 5% parcial en relación al cemento es decir se quitó 10 gramos de cemento a la adición total de 200 g. Sumado los 10 g de zeolita y 190 de cemento nos da un total de 200 g.

Siendo así, se obtuvieron resultados de 10.4 y 10.6 MPa, con una resistencia promedio de 10.5 MPa, es decir respecto a la base de 12.75 MPa, existe una variación de - 2.25 MPa. Es decir, disminuyo la resistencia con esta dosificación.

Muestra M3; M3,3

Para este caso, con la variación del 10% de cemento y agregado de zeolita, se obtuvo resistencias de 10.9 y 11.7 MPa, es decir, un promedio de 11.3 MPa. Existe variación respecto a la base de 12.75 MPa, no obstante, se considera lo positivo en relación a la resistencia de la M2; M2,2.

Muestra M4; M4,4

Con la adición del 15% se obtuvieron resistencias de 10.4 y 9.4 MPa, es decir una resistencia de 9.9 MPa, de este punto se puede establecer que la resistencia disminuyo un tanto respecto de la muestra M2; M2,2.

Muestra M5; M5,5

Aquí con la adición del 20% de zeolita, se obtuvieron valores de 9.5 y 9.2 MPa, es decir un total de 9.35 MPa, que de igual manera varia de forma negativa respecto a los valores iniciales de resistencia.

Muestra M6; M6,6

Por último, la dosificación con el 25% de zeolita, arrojó resultados de 7.9 y 8.8 MPa, es decir 8.35 MPa, varía respecto a todas las muestras, no obstante, se ha conseguido en esta última un valor de resistencia considerado bueno para aplicaciones que se las requiera.

Es así, con lo presentado en este apartado y el siguiente se establece que los ensayos realizados de valoración de la resistencia a la compresión simple de morteros con adición de zeolita han arrojado valores que, representan una resistencia, que se puede utilizar en labores de albañilería y construcción donde la resistencia que se requiera no sea considerablemente alta.

Por ejemplo, según el Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC), una resistencia de 10 MPa, puede ser utilizada para revoques y enlucidos, es decir en el recubierto de paredes tanto en exterior como interior. Otros usos, generalizados donde se podría utilizar es en muros no estructurales, saneamientos de juntas o pequeñas grietas, entre otros. Siempre y cuando que la resistencia que se requiera no sea tan elevada. No obstante, el trabajo experimental cumple con la resistencia deseada para trabajos mencionados en este texto.

3.2.1 Gráfico de tendencia

Evaluada las resistencias de cada una de las muestras, se ha considerado realizar el promedio de cada grupo de muestras, esto con la finalidad de obtener una relación entre las dos, donde se establece que cada grupo de muestras tiene un rango aceptable de variación, lo cual nos dice que las pruebas realizadas han resultado exitosas.

Por ende, los promedios realizados se han graficado para obtener una gráfica de tendencia, valga la redundancia. Que se explica a continuación.

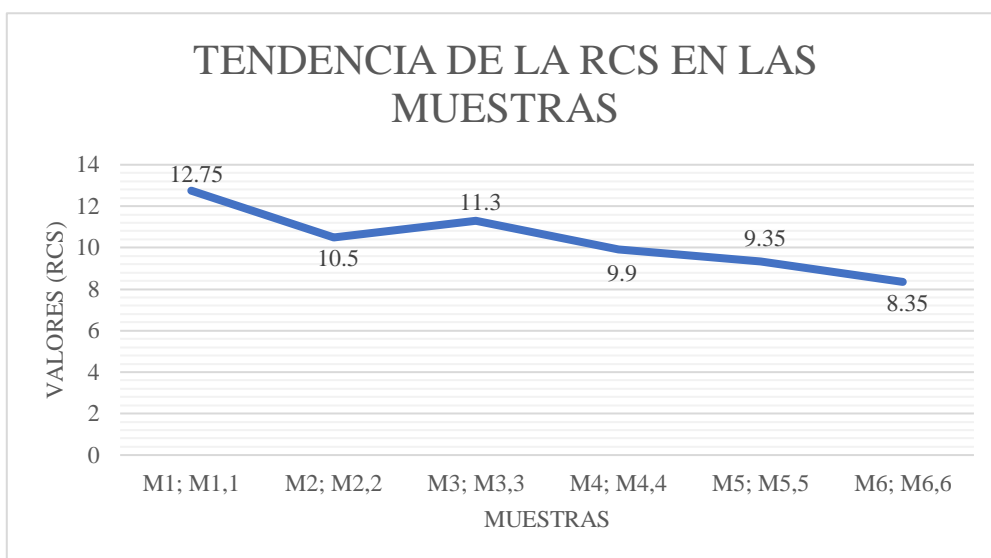
Tabla 20 Promedio de valores de la RCS de cada grupo de muestras

Muestra	RCS (MPa)
M1; M1,1	12,75
M2; M2,2	10,5
M3; M3,3	11,3

M4; M4,4	9,9
M5; M5,5	9,35
M6; M6,6	8,35

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Gráfica de tendencia de los promedios de RCS de las muestras



Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se observa la relación que guardan los valores de la RCS del grupo de muestras con alteración parcial de cemento desde la muestra número 2, hasta la número 6, con el 5 y 25% respectivamente de zeolita. Esta sustitución de cemento por zeolita se realizó para valorar la resistencia a la compresión simple de estas muestras, los ensayos arrojaron resultados prometedores, donde de ser necesario valores de resistencia a la compresión bajos, pero no tan dispersos de la base de comparación, se podría considerar el uso de este trabajo experimental como concluyente para lo que se requiera.

El gráfico nos indica, la tendencia que muestran los valores. Yendo desde el punto de comparación, el valor más alto 12.75 MPa promedio del primer grupo de muestras. Hasta el más bajo que es de 8.35 MPa promedio del último grupo de muestras. La tendencia a

disminuir con la sustitución del cemento por zeolita establece que el trabajo de experimentación realizado ha sido correcto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con la realización de los ensayos propuestos se presentan las siguientes conclusiones

El uso de la zeolita natural como único material de composición para la elaboración de morteros es débil ya que las muestras presentan una resistencia negativa en comparación amorteros con una composición del 100% de cemento.

La dosificación en los morteros que poseen una composición del 100 % de cemento, en relación a los morteros con una composición del 5, 10, y 15% de zeolita sustituyendo al cemento presentan una resistencia a la compresión semejante a los morteros de cemento.

Debido a la relación que existe entre la resistencia a la compresión que hay en la composición de cemento y zeolita, pueden emplearse en la industria de la construcción como en la elaboración de adoquines, veredas ya que requieren una resistencia menor.

La composición físico-química que hay relación al cemento y zeolita pueden llegar a tener un fraguado mucho más rápido, logrando así una reducción en los procesos de construcción.

Recomendaciones

Se recomienda almacenar la zeolita natural en espacios que no tengan exposición directa con el ambiente, ya que la zeolita absorbe la humedad directamente y tiene riesgo a contaminarse con elementos del exterior.

Se recomienda usar agua libre de sustancias como ácidos, materia orgánica, aceites, ya que pueden generar reacciones químicas que alteran la composición física del cemento y alterar el tiempo de fraguado y reducir la resistencia en los morteros.

Se recomienda que mientras se desarrollen los ensayos para la elaboración de morteros se debe tener en cuenta que el material cumpla con los parámetros físicos requeridos y que no se encuentre con material orgánico dentro del material a utilizar.

Se recomienda que, en el proceso de molienda y tamizado, los equipos deben ser limpiados de manera detenida y así evitar que el material no se quede retenido en los equipos en uso.

Utilizar equipos de protección personal adecuada para evitar perjuicios en nuestra salud.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing Materials. (n.d.). Annual book of ASTM standards. Section 4, Construction. Vol. 04.02, Concrete and aggregates. ASTM International.
- Bavaresco, G. (n.d.). *PRENSAS*. Retrieved May 18, 2024, from <https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/prensas.pdf>
- Cañas, J. S. (n.d.). *DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO*. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf>
- CHRYSO. (n.d.). *Tipos de cementos y morteros*. CHRYSO SAINT-GOBAIN. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.chryso.es/news/364/Tipos+de+cementos+y+morteros>
- CISA, S. T. (n.d.). *Principios de tamizado*. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.cisa.net/principios-tamizado/#indica>
- Curi, A., Granda, W. J. V, Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Información Tecnológica*, 17(6), 111–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600017>
- Gaitan Orozco, S. (1996). *ANÁLISIS MINERALÓGICO Y EXAMEN PETROGRÁFICO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO DE TRES BANCOS EN LA REGIÓN CENTRAL DEL PAÍS*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1824_C.pdf
- Galván Ceballos, M. A., & Serón Gáñez, J. B. (2020). *Manual de prácticas de laboratorio : mecánica de rocas*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://programaeditorial.univalle.edu.co/gpd-gpd-manual-de-practicas-de-laboratorio-mecanica-de-rocas-9789585168244-6398aed8c6b21-6398aed8c6b77.html>
- GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, L. (2003). *EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9302/9589322824_Parte5.pdf?seque

- HOLCIM ECUADOR S.A. (n.d.). *Ficha técnica agregados finos*. Retrieved May 18, 2024, from https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/images/holcim_ficha_agregados_finos.pdf
- Neville, A. M. (2000). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. https://books.google.com.ec/books/about/Tecnología_del_concreto.html?hl=es&id=KqyuAAAACAAJ&redir_esc=y
- Núñez, C. E. (2008). *EN RELACIÓN A LOS TAMICES NORMALIZADOS*. www.cenunez.com.ar
- Oyanguren, P. R., & Monge, L. A. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*.
- Peña, A., Pinta, F., Angulo, N., & Sosa, B. (2012). *Infoeconomía*. <http://www.inecyc.ec/>
- Proaño Cadena, G. (2009). El agua para morteros. *DSpace En ESPOL*. www.dspace.espol.edu.ec
- Sanjuán Barbudo, M. A., & Chinchón Yepes, Servando. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*. UNIVERSIDAD DE ALICANTE. <http://hdl.handle.net/10045/45347>
- Sarg Rodríguez, O. J. (2010). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DEL AGREGADO DEL BANCO LA ISLA DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, ALTA VERAPAZ*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3200_C.pdf
- Shimadzu. (2024). *Shimadzu Analytical and Measuring Instruments*. <https://www.shimadzu.com>
- Solís Chávez, C. (2004). *Mecánica de Suelos*.
- UCEM. (n.d.-a). *FICHA TÉCNICA CEMENTO HIDRÁULICO GUAPÁN TIPO GU*. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.ucem.com.ec>
- UCEM. (n.d.-b). *Guapan Cemento*. UCEM. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.ucem.com.ec/cemento-guapan-hormigon-prefabricados-cobertura-nacional/>
- Zwick Roell. (n.d.). *Ensayo de compresión y máquinas de ensayos de compresión*. Retrieved May 18, 2024, from <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-compresion/>

ANEXOS

Anexo 1. Serie de tamices utilizadas para el tamizado de la zeolita



Anexo 2. Arena tamizada para uso en las dosificaciones de morteros



Anexo 3. Conjunto de muestras a los 28 días de curado



Anexo 4. Molienda de zeolita en el laboratorio de ingeniería en Minas de las Universidad del Azuay.



Anexo 5. Muestras antes de entrar al curado



Anexo 6. Muestras de zeolita malla 200, zeolita malla 100 y arena, de izquierda a derecha



Anexo 7. Saco de zeolita a utilizada para el trabajo de investigación



COMPOSICIÓN	
ALUMINOSILICATO CRISTALIZADO	96%
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEC)	118.3 meq/100 gr
ESPESOR PARTICULA	0.18 µm ¹
EFECTIVIDAD DE ADSORCIÓN DE AGUA	90.4%
POTENCIAL THERMOESTABILIDAD	n.s.

Contenido de Oxidos	
Oxido de Silicio	Oxido de Aluminio
Oxido de Hierro	Oxido de Potasio
Oxido de Calcio	Oxido de Magnesio
Oxido de Manganeso	Oxido de Sodio

Anexo 8. Conjunto de muestras restantes antes del curado de 28 días



Anexo 9. Mezcla de dosificación



Anexo 10. Informe de laboratorio de la rotura de muestras

UCUENCA

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléfono: 405-1000 Ext: 2354

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS

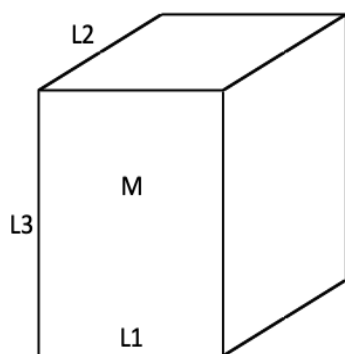
INEN 488

Solicita: Dixon Mauricio Guayllazaca Cordova

Fecha de ensayo: 15/5/2024

Proyecto: Valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de morteros con adición de zeolita.

MUESTRA	Masa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (N)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
M 1	422	50	40	100	2000	23800	11,9
M 1,1	419	50	39	99	1950	26600	13,6
M 2	425	51	43	99	2193	22800	10,4
M 2,2	437	49	43	101	2107	22300	10,6
M 3	424	49	41	99	2009	21800	10,9
M 3,3	436	49	39	100	1911	22300	11,7
M 4	44	49	40	99	1960	20400	10,4
M 4,4	426	49	44	100	2156	20200	9,4
M 5	442	51	40	100	2040	19700	9,7
M 5,5	414	51	39	100	1989	18300	9,2
M 6	443	50	45	100	2250	17800	7,9
M 6,6	412	49	39	100	1911	16800	8,8



Esquema de las muestras ensayadas.

KARLA JOHANNA
SANTACRUZ
REYES

Firmado digitalmente
por KARLA JOHANNA
SANTACRUZ REYES
Fecha: 2024.05.16
15:59:49 -05'00'

Ing. Karla Santacruz
Directora de Laboratorio



Firmado electrónicamente por:
**NOELA ESTEFANIA
ROJAS AVENDAÑO**

Ing. Estefania Rojas Avendaño
Técnico de Laboratorio