

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE: INGENIERÍA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Tema: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE HORMIGONES DE 240 kg/cm² Y 280 kg/cm², EMPLEANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE ZEOLITA NATURAL COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”. CASO ESTUDIADO EN GUAYAQUIL CON LA MINA “VOLUNTAD DE DIOS I”

AUTORES:

De La Cruz Osorio Andrea Lizbeth

Escobar Alulema Francisco Javier

QUITO DM, MARZO DE 2022

Tabla de contenido

1. TEMA.....	6
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. Objetivo General	8
4.2. Objetivos Específicos	8
5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.	8
5.1 ANTECEDENTES O MARCO REFERENCIAL	8
5.2. MARCO TEÓRICO.....	9
5.3 MARCO CONCEPTUAL	10
5.3.1. HORMIGÓN	10
5.3.1.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.....	10
5.3.1.2. DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO:.....	11
5.3.1.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	12
5.3.1.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.	13
5.3.1.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD	14
5.3.1.6. CEMENTO	14
5.3.3. AGREGADOS	15
5.3.4. AGUA.....	17
5.3.5. PUZOLANAS.....	17
5.3.6 ZEOLITAS.	18
5.3.1.1 Catastro Minero y Georreferenciación de Zeolitas Naturales.	21
5.3.1.2 Impurezas orgánicas en la arena	22
6. ALCANCE	23
7. HIPÓTESIS.....	24
8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
8.1. VARIABLES.....	24
9. PROCEDIMIENTO MARCO METODOLÓGICO	24
9.1. TIPO EXPLORATORIO	24
9.2. TIPO DESCRIPTIVO	24
9.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	25
9.3.1. Población.....	25
9.3.2. Muestra.....	25
CAPÍTULO III	28

3.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	28
3.1.1	ENSAYOS PREVIOS A DOSIFICAR	28
3.1.1.3	Módulo de finura del agregado fino	29
3.2	DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		34
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
4.1.1	Ensayo de los Agregados	34
4.2	Ensayos de Hormigón Endurecido	44
4.2.1	Resistencia a la compresión	44
4.1.2	ZEOLITA ´	59
4.1.3	ENSAYOS DE LA ZEOLITA.....	64
10.	CAPÍTULO V	69
10.1	CONCLUSIONES	69
10.2	RECOMENDACIONES	70
11.	BIBLIOGRAFÍA	71
12.	ANEXOS	73

Tabla de Figuras

Tabla 1	Detalles de cilindros a realizar.....	25
Tabla 2	Detalles de Metodología.....	27
Tabla 3	Humedad del agregado fino.....	34
Tabla 4	Humedad del agregado grueso	35
Tabla 5	Granulometría del agregado fino	35
Tabla 6	Módulo de finura del agregado fino	36
Tabla 7	Granulometría del agregado grueso.....	37
Tabla 8	Módulo de finura del agregado grueso	38
Tabla 9	Gravedad Específica del agregado fino	39
Tabla 10	Gravedad Específica del agregado grueso	40
Tabla 11	Asentamiento por tipo de consistencia	41
Tabla 12	Datos del ensayo de compresión de cilindros	44
Tabla 13	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 10% de Zeolita.....	46
Tabla 14	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 20% de Zeolita.....	47
Tabla 15	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 30% de Zeolita.....	48
Tabla 16	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280.....	49
Tabla 17	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 10% zeolita	50
Tabla 18	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 20% zeolita	51
Tabla 19	Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 30% zeolita	52
Tabla 20	Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 7 días	53
Tabla 21	Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 14 días	54
Tabla 22	Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 28 días	55

Tabla 23 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 7 días	56
Tabla 24 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 14 días	57
Tabla 25 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 28 días	58
Tabla 26 Datos de la zeolita utilizada.....	59
Tabla 27 Identificación del producto.....	61
Tabla 28 Información de minas y proveedoras.....	62
Tabla 29.....	63
Tabla 30 Especificaciones de la norma de la ASTM C618-03	63
Tabla 31. Contenido de Humedad	64
Tabla 32. Gravedad específica del cemento.....	64
Tabla 33. Consistencia normal	64
Tabla 34. Tiempo de fraguado Gillmore	65
Tabla 35. Tiempo de fraguado Gillmore	66
Tabla 36. Finura de Blaine	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Catastro de Zeolitas en el Ecuador	20
Ilustración 2 . Unidades estructurales básicas de las zeolitas.....	21
Ilustración 3 Principales tipos de zeolitas naturales.....	21
Ilustración 4 Mapa ArcGIS de la ubicación de la cordillera Chongón-Colonche	22
Ilustración 5 Granulometría del agregado fino	29
Ilustración 6 Granulometría agregado grueso.....	30
Ilustración 7 Cantidad de material por diámetro de tamiz	32
Ilustración 8 Comparación de colores por medio de una placa orgánica de colores.....	40
Ilustración 9 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 a los 7 días,14 días y 28 días.	45
Ilustración 10 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 10% a los 7 días,14 días y 28 días.....	46
Ilustración 11 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 20% a los 7 días,14 días y 28 días.....	47
Ilustración 12 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 30% a los 7 días,14 días y 28 días.....	48
Ilustración 13 Curva de resistencia Hormigón f'c 280 a los 7 días,14 días y 28 días.	49
Ilustración 14 Curva de resistencia Hormigón f'c 280 con 10% a los 7 días,14 días y 28 días.....	50
Ilustración 15 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 20% a los 7 días,14 días y 28 días.....	51
Ilustración 16 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 30% a los 7 días,14 días y 28 días.....	52
Ilustración 17 Cuadro comparativo a los 7 días f'c 240.....	53
Ilustración 18 Cuadro comparativo a los 14 días f'c 240.....	54
Ilustración 19 Cuadro comparativo a los 28 días f'c 240.....	55
Ilustración 20 Cuadro comparativo a los 7 días f'c 280.....	56
Ilustración 21 Cuadro comparativo a los 14 días f'c 280.....	57
Ilustración 22 Cuadro comparativo a los 28 días f'c 280.....	58
Ilustración 23 Ubicación de Zeolita utilizada	59
Ilustración 24 Datos químicos de la Zeolita evaluada	60
Ilustración 25 Zeolita Clinoptilolita-Mordenita.....	61
Ilustración 26 Zeolita estudiada en materia prima	62
Ilustración 27. Penetración aguja vicat	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 GRÁFICA DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	36
Figura 2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	37
Figura 3 DOSIFICACIÓN A/C =0.6.....	42
Figura 4 DOSIFICACIÓN A/C =0.5.....	42
Figura 5 DOSIFICACIÓN A/C =0.4.....	42
Figura 6 CURVA RESISTENCIA VS A/C.....	43
Figura 7 DOSIFICACIÓN ELEGIDA PARA F'C 240.....	43
Figura 8 DOSIFICACIÓN ELEGIDA PARA F'C 280.....	44

1. TEMA

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE HORMIGONES DE 240 kg/cm² Y 280 kg/cm², EMPLEANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE ZEOLITA NATURAL COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”. CASO ESTUDIADO EN GUAYAQUIL CON LA MINA “VOLUNTAD DE DIOS I”

2. JUSTIFICACIÓN

La Zeolita a utilizar será extraída de la mina ÁREA MINERA “VOLUNTAD DE DIOS I” ubicada en Guayaquil vía la Costa al igual que los agregados.

En la actualidad se han presentado varias alternativas como reemplazo del cemento en hormigones debido a que existe una gran disponibilidad de materias primas como puzolanas los cuales tienen pequeños costos comparado a la utilización del cemento, siendo el hormigón como un material esencial en la parte de la construcción, pero como sabemos en la producción del cemento Portland causa grandes cantidades de emisiones de CO₂ los cuales han ido afectando tanto en su sustentabilidad y sus costos. (Mata & Mata Cabrera, 2010).

El cemento Portland, amenaza gravemente a la sostenibilidad donde una tonelada de cemento Portland genera casi una tonelada de CO₂ expuesto a la atmósfera. (Mandrake, 2022)

Las Zeolitas son minerales que son extraídos de las capas volcánicas, residuos de las erupciones de volcanes, esto fue descubierto en el año 1756 por el Mineralogista Sueco Axel Fredrik Cronstedt, donde la palabra Zeolitas proviene de la etimología “ZEO” que significa “Hervir” y “LITHOS” que significa piedra. De acuerdo a su forma se han descubierto 206 tipos de Zeolitas, teniendo características naturales y sintéticas. (Anchundia L, Segarra E, Pag5). A pesar de que se conoce que la zeolita tiene actividad puzolánica desde la época romana, y hoy en día en Grecia, Japón e incluida China demuestran que su implementación en cementos obtiene el uso de más de 30 millones de toneladas anuales para la producción de cementos, los informes de uso de la zeolita como adición activa a hormigones aparece como primera la experiencia cubana. Se han realizado investigaciones a diferentes escalas del uso de adiciones de zeolita en tecnologías de prefabricado, premezclado y pretensado

que han demostrado las mejoras en las prestaciones. (Vintimilla Proaño & Cantos Alcívar, 2018)

Los estudios de durabilidad de los hormigones con adiciones de zeolita han evaluado y demostrado los incrementos de resistencia, disminución de la permeabilidad, la absorción por capilaridad y el pH en el tiempo en comparación con hormigones sin adiciones. (Vintimilla Proaño & Cantos Alcívar, 2018)

La concentración del CO₂ en la atmósfera se ha incrementado rompiendo récords como sucedió en el mes de mayo del 2019, registrando 415,64 ppm. (Nullis, 2022)

Por lo que en nuestra disertación el transporte del cemento afecta mucho a la huella ecológica, ya que produce una considerable cantidad de dióxido de carbono. (Nullis, 2022)

Para la obtención del factor de emisión de CO₂ nos basamos en el inventario de:” Emboiled CO₂ of Factory made cements and combinations: Inventario realizado por el British Cement Assosation” (BCA) que se centra en la contaminación en la extracción y los procesos de elaboración del cemento. (Nullis, 2022)

Obteniendo un factor de emisión del 0.0880 TCO₂e/T material, lo cual es muy significativo en el efecto invernadero y contaminación de la atmosfera, sin embargo, se propone reducir el transporte del Cemento, para reducir los gases de invernadero, para contribuir con la huella ecológica y ayudar a nuestro planeta. (Nullis, 2022)

3. PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el sector de la construcción está experimentando cambios debido al uso de nuevos materiales y la implementación de otros conocidos en la antigüedad, como las puzolanas, que se utilizaron junto con la cal como material de cemento para construir las estructuras de la civilización Romana y griega, conocido como parte de las pastas y morteros de cemento utilizadas en esa época para la construcción. (Rosell Lam, Costafreda Musteliet, Parra y Alfaro, & Calvo Pérez)

El carácter puzolánico de las zeolitas naturales ha sido demostrado por numerosas autoridades científicas en las dos últimas décadas, describe minuciosamente el comportamiento de las zeolitas como puzolanas activas, y lo compara con las variaciones registradas en las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con proporciones

sustanciales en este mineral. Establece, como otros tantos investigadores, que el empleo de zeolitas, en mezclas de cementos y morteros, provoca el aumento de resistencias mecánicas a edades cercanas a los 28 días. (Rosell Lam, Costafreda Mustelier, Parra y Alfaro, & Calvo Pérez)

La presente disertación se centrará en elaborar cilindros de hormigones con diferentes porcentajes de Zeolita que reemplazaran al cemento para evaluar su resistencia con un hormigón tradicional de resistencia de 240 kg/cm² y 280 kg/cm².

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Evaluar cilindros de hormigón de resistencia (240 y 280) kg/cm², empleando varios porcentajes de zeolita natural sustituyendo al cemento, mediante el ensayo a compresión simple para poder comparar su resistencia con un hormigón tradicional.

4.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un hormigón de f'c 240 reemplazando el cemento con porcentajes del 10%,20%,30% de zeolita para poder comprobar el comportamiento en cuanto a la resistencia a compresión.
- Elaborar un hormigón de f'c 280 reemplazando el cemento con porcentajes del 10%,20%,30% de zeolita para poder comprobar el comportamiento en cuanto a la resistencia a compresión.

5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.

5.1 ANTECEDENTES O MARCO REFERENCIAL

En el Ecuador no existe suficiente experiencia en la implementación de un recurso natural como las puzolanas de origen volcánico, con grandes posibilidades en la elaboración de hormigones mediante el reemplazo parcial de cemento Pórtland, obteniendo un mejor o igual desempeño y la resistencia del hormigón, así mismo logrando una disminución

considerable Impacto de la utilización de puzolanas naturales, ya sea a nivel ambiental, social y económico. (Jarre Castro, Howland Albear2, & Guerrero Alcivar1, 2017)

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más contaminantes para la atmósfera terrestre. (Andrade Castañeda, Arteaga Céspedes, & Segura Madrigal, 2017) Diferentes actividades humanas e industriales contribuyen al crecimiento de la huella ecológica de nuestro planeta, sin embargo, las más recurrentes son: el transporte representando el 27,7 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. (Jarre Castro, Howland Albear2, & Guerrero Alcivar1, 2017)

5.2. MARCO TEÓRICO

El Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) ha caracterizado la ceniza volcánica natural en depósitos ubicados en el Corredor Andino del país, especialmente en las regiones Panzaleo y Jachaguangu en el estado Pujilí, provincia de Cotopaxi, y ha identificado diferentes sectores de volcanes, las diferentes propiedades presentes hacen que los resultados del análisis químico cumplan con las especificaciones establecidas por la norma ASTM C-618. (Jarre Castro, Howland Albear2, & Guerrero Alcivar1, 2017)

Los resultados obtenidos muestran que la puzolana natural de Ecuador es apta para la producción de hormigón y puede reemplazar parcialmente al cemento Portland, pero los efectos económicos y políticos son difíciles de equilibrar, porque el uso de puzolana necesita reducir el uso de cemento, que tendrá un impacto en la economía de las empresas cementeras como parte de la investigación realizada por el INIGEMM incluyó el uso de hormigón para la construcción de viviendas típicas, en las que parte del cemento reemplazó al material puzolánico, los resultados mostraron que el costo de construcción del modelo demostrativo se redujo en un 23,68%. (Jarre Castro, Howland Albear2, & Guerrero Alcivar1, 2017)

El uso de ceniza volcánica natural en Ecuador ha producido factores socioeconómicos y ambientales.

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1. HORMIGÓN

El hormigón es conocido como un material usado para la construcción, el cual se caracteriza por no ser homogéneo, constituido principalmente por la mezcla de cemento, arena, grava y agua, en donde tenemos que el cemento es el material ligante; la arena y la grava son materiales de relleno, conocidos como agregados; y el agua trabaja como un catalizador el cual reacciona con el cemento y ayuda a que éste desarrolle sus propiedades ligantes. (Jarre Castro, Howland Albear², & Guerrero Alcivar¹, 2017)

5.3.1.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

5.3.1.1.1. Trabajabilidad:

Trabajabilidad es una propiedad que indica la facilidad o dificultad que tiene una mezcla de hormigón en estado fresco el cual indique si se puede o no manipular, esta propiedad se la puede determinar a través del ensayo de Cono de Abrams o también se la puede medir mediante la dispersión diametral en la mesa de flujo. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016).

5.3.1.1.2. Consistencia:

Esta propiedad está relacionada directamente con el grado de fluidez de la mezcla de hormigón en cual determina la resistencia a la deformación del hormigón debido a su peso propio. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

Los ensayos más utilizados para medir esta propiedad son:

- Ensayo con la esfera de Kelly (ASTM-C360)
- Ensayo de asentamiento o revenimiento (ASTM-C143)
- Prueba de remolde de Vebe (BS-1881)

5.3.1.1.3. Cohesión.

Propiedad de los agregados de poder adherirse a la pasta de cemento y agua sin que ocurra segregación y que su colocación sea fácil. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.1.4. Segregación:

Propiedad que mide la separación de los agregados de, la mezcla de hormigón ya mezclado. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.2. DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO:

Gracias a esta propiedad podemos determinar las cargas que actuarán en el encofrado al momento de ser colocado y compactado, también se puede obtener un porcentaje de pérdida de masa ya sea por sangrado, evaporación de agua, filtración de lechada o exudación. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

5.3.1.2.1 Consistencia:

Es la capacidad del hormigón recién mezclado de deformarse donde se puede medir mediante el ensayo del cono de Abrams. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.2.1.2. Docilidad:

Capacidad de ser puesto en otro lugar el cual se puede medir de igual manera con el ensayo de cono de Abrams. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.2.1.3 Homogeneidad:

Se refiere a la calidad de todos los componentes del hormigón distribuidos en la misma proporción en toda la masa. La calidad homogénea es lo opuesto a los defectos de separación decantación. Se mide por la calidad específica de las piezas de hormigón fresco que están separadas entre sí. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.2.1.4. Masa específica:

Es la relación entre la masa de hormigón fresco y el volumen ocupado. Se puede medir con hormigón compactado o sin compactar. La densidad del hormigón recién

compactado es una medida de la eficacia del método de compactación utilizado. Su unidad de medida es kg / m³. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.2.1.4. Tiempo abierto:

El tiempo que transcurre desde que se mezcla el hormigón hasta que comienza a solidificarse. Esta es una característica muy importante porque se puede operar sin degradar las propiedades del hormigón. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado, el hormigón endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las redes de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

Las propiedades del hormigón endurecido son:

5.3.1.3.1. La densidad:

Es la relación entre la masa de hormigón y el volumen ocupado. Para hormigón totalmente compactado con árido ordinario, su rango está entre 2300-2500 kg / m³, en el caso de utilizar áridos ligeros, el rango de densidad se sitúa entre 1000-1300 kg / m³. Si se utilizan agregados pesados, el rango de densidad está entre 3000-3500 kg / m³. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.3.2 Compacidad:

Es la masa con la máxima densidad permitida por el material utilizado, el hormigón de alta densidad es la mejor medida de protección para evitar la entrada de sustancias nocivas. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

Permeabilidad:

Es el grado en que el hormigón puede entrar líquido o gas. El factor que más influye en este comportamiento es la relación entre la cantidad de agua añadida al hormigón y la cantidad de cemento (a / c). Cuanto mayor es la relación, mayor es la permeabilidad y,

por lo tanto, más susceptible es el hormigón a posibles daños. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.3.3 Resistencia:

El hormigón endurecido es resistente a los efectos de la compresión, tracción y abrasión, principalmente, la resistencia a la compresión lo convierte en un material importante en el hormigón de alta resistencia, la resistencia a la tracción es mucho menor, pero es muy importante en algunas aplicaciones, la resistencia a la abrasión que es de gran interés para la superficie de la carretera se logra mediante el uso de agregados muy resistentes a la abrasión y una relación agua-cemento muy baja. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.3.4 Dureza:

Propiedad superficial en la cual podemos ver como se modifica en el tiempo por el fenómeno llamado de carbonatación, un método que podemos medir es el índice de rebote con el esclerómetro Schmidt (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016).

5.3.1.3.5 Retracción:

Es cuando el hormigón empieza una etapa de acortamiento debido a la evaporación progresiva el cual formará meniscos en la pasta del cemento. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.

Una de las características más importantes que se obtienen del ensayo de un cilindro de hormigón es su valor de compresión, que permite cuantificar el desempeño del hormigón, también se utiliza como factor en el diseño de obra civil; y controlarlos en sus especificaciones, la resistencia a la compresión de la probeta de hormigón se obtiene de la relación entre la carga máxima de rotura alcanzada por la probeta en el ensayo y el valor del área de la sección transversal de la carga aplicada. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo elástico del material es una medida de rigidez o resistencia a la deformación, el módulo de elasticidad de un material es una medida de rigidez o resistencia a la deformación. El valor del módulo de elasticidad depende de las propiedades del agregado, la resistencia del cemento y el concreto, la edad, el tamaño y la forma de la muestra y la velocidad a la que se aplica la carga. (Andrade Sanchez & Flores Revilla, 2016)

5.3.1.6. CEMENTO

El cemento está constituido por conglomerantes hidráulicos, es decir, productos que al mezclarse con agua forman pastas que solidifican y endurecen, de modo que dan forma a un producto resistente y estable tanto en contacto con el aire como con el agua. (Distribuidora Mariscal, 2020).

- Por su fraguado: Rápidos ($t < 1$ hora) o lentos ($t > 1$ hora)
- Por su Composición Química: Naturales, portland, escorias, puzolánicos y aluminosos.
- Por sus Aplicaciones: De alta resistencia inicial y resistente a los sulfatos. En esta investigación nos vamos a centrar en el cemento portland.

5.3.2. CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor medida, por aluminatos de calcio. También se le llama “cemento hidráulico” porque tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, porque reacciona químicamente con ella y forma un material con excelentes propiedades aglutinantes. (Becosan, 2021)

- Tipo I: Es cemento normal. Se obtiene mezclando yeso con Clinker. Se emplea en muchas construcciones industriales y civiles (pavimentos, estructuras, viviendas, etc.). Se utiliza en la mayor parte de los proyectos, a no ser que las especificaciones de la construcción aconsejen lo contrario. A favor de este tipo de cemento: su resistencia inicial y menor tiempo de desencofrado. (Becosan, 2021)

- Tipo II: Es un cemento modificado, realmente útil en construcciones que precisen de gran cantidad de hormigón (como, por ejemplo, una presa) o que ofrezcan resistencia al ataque de sulfatos o cloruros (obras que estén en contacto con el agua, aquí también sirve el ejemplo de la presa). No obstante, también podemos encontrar este cemento en puentes o tuberías de hormigón. (Becosan, 2021)
- Tipo III: Ofrece una gran resistencia inicial, pero va aumentando con el paso de los días. Es decir, necesita 7 días para conseguir la resistencia del tipo I y 28 días para el de tipo II. Se emplea para construcciones de emergencia o elementos prefabricados. Podríamos decir que es muy recomendable en aquellos casos en los que necesitemos una resistencia acelerada. (Becosan, 2021)
- Tipo IV: Es un cemento con bajo calor de hidratación, por lo que se utiliza en obras que no precisan de mucha resistencia inicial. Es utilizado en grandes obras de hormigón, como túneles o presas. Alcanza su resistencia óptima después de 30 días. Sin embargo, el procedimiento continúa lentamente, no se detiene. (Becosan, 2021)
- Tipo V: Es un cemento empleado en la construcción de obras o elementos que necesitan una fuerte resistencia ante el ataque de álcalis y sulfatos (tuberías, losas, alcantarillas, infraestructuras portuarias, etc.). Para conseguir esto, hay que reducir la cantidad de aluminato tricálcico, componente de mayor vulnerabilidad ante los sulfatos. (Becosan, 2021)

5.3.2.1. Densidad real del cemento

La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa de un volumen unitario de los sólidos, debe estar comprendida en el rango de 2.90 - 3.15 gr/cm³ y se determina de acuerdo a la norma INEN 156, el ensayo consiste en determinar la relación entre la masa de cemento (150 -200 gr) y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el picnómetro de 500 cm³. (Becosan, 2021)

5.3.3. AGREGADOS

Al hablar de agregados hacemos referencia a la arena como agregado fino y al ripio como agregado grueso. Estos materiales son muy importantes porque ocupan entre el 60%

y el 75% del volumen de hormigón, por lo que tanto su tipo como su calidad deben ser los adecuados. Tienen un gran impacto en la condición que alcanza el hormigón, ya sea fresco o endurecido. (Chryso, 2021)

Los áridos utilizados como componentes de mezclas de hormigón cumplen las siguientes funciones principales:

- Aportar una cantidad de partículas que otorguen alta resistencia al hormigón al desgaste que puede ser provocada por determinadas acciones mecánicas o exposición a la intemperie.
- Actúa como relleno o esqueleto de una mezcla de agua y cemento para darle una consistencia específica y adecuada.
- Reducir los cambios de volumen que pueden ocurrir durante el proceso de fraguado o endurecimiento del concreto, así como durante el calentamiento, secado o humectación de la mezcla.
- Cuando el hormigón está fresco, los componentes se encargan de lubricar los áridos (finos o gruesos), lo que asegura una mayor trabajabilidad y cohesión de la mezcla.
- La principal ventaja de utilizar áridos es la reducción de costes en la preparación de la mezcla de hormigón. (Chryso, 2021)

5.3.3.1. Agregado fino

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la norma NTE INEN 694. (Chryso, 2021)

5.3.3.2 Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma NTE INEN 694, o que sus partículas tengan un tamaño mayor a 5 mm. (Chryso, 2021)

5.3.4. AGUA

El agua es uno de los componentes más importantes en el procesamiento del hormigón, pues es el componente que activa el cemento para formar un aglomerante que envuelve al árido, las propiedades del agua afectan directamente las propiedades del hormigón, especialmente en su durabilidad. (Mandrake, 2022)

5.3.4.1. Agua de amasado

En la norma NTE INEN 2617, se indica que es permitido el uso del agua potable como agua de mezcla del hormigón sin la realización de ensayos para verificar el cumplimiento de los requisitos de esa norma. Por lo que se confirma que el uso de agua potable es correcto. (Mandrake, 2022)

El agua para amasar y curar es satisfactoria si es potable, el agua de curado, evita la desecación, mejora la hidratación del cemento y disminuye la retracción, durante la etapa de endurecimiento del hormigón. (Mandrake, 2022)

Para que se cumpla satisfactoriamente el proceso de curado se deberá cumplir con NTE INEN 2528 [29], en esta norma se indica que una cámara de curado, debe tener una temperatura de $23.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Mandrake, 2022)

5.3.5. PUZOLANAS

Podemos definir a las puzolanas como los materiales conformados por sílice o sílice-alúmina, los cuales se han utilizado durante la historia en la elaboración del cemento, aunque sabemos que este no está directamente conformado de propiedades hidráulicas, ya que, al ser mezclado con cal y agua, da como resultado un conglomerado hidráulico. (Salazar J, 2010)

5.3.5.1 Puzolanas Naturales

En la puzolana natural o la ceniza volcánica natural, se pueden distinguir dos formas diferentes de fuentes, fuentes minerales y fuentes "orgánicas", el elemento volcánico del evento de erupción es el material que constituye la ceniza volcánica mineral, la ceniza volcánica orgánica o biológica es una estructura geológica sedimentaria rica en sílice

hidratada, formada por el hacinamiento de huesos de animales o algas en sedimentos submarinos. (Salazar J, 2010)

5.3.5.2. Puzolanas Artificiales

La puzolana artificial se forma mediante tratamiento, generalmente tratamiento térmico, las puzolanas artificiales pueden derivarse de subproductos que obtienen características de puzolana debido a operaciones industriales, como cenizas volantes, arcilla activada y escoria de colada. (Salazar J, 2010)

La ceniza volcánica natural es definida por NTE INEN 0494 como un material que exhibe las características de ceniza volcánica en su estado natural; por ejemplo: ceniza volcánica y toba, arcilla, pizarra, tierra de diatomeas, grava o piedra pómez, entre los cuales el 99% de productos silíceos. (SiO₂). (Salazar J, 2010)

5.3.6 ZEOLITAS.

Las zeolitas pertenecen a un grupo de aluminosilicatos cristalinos e hidratados de aluminio, con cationes alcalinos y alcalino-térreos, y con un orden tridimensional (tectosilicatos) ya que al poseer una estructura abierta puedes recibir y ceder agua, cationes, teniendo cambios nada significativos en cuanto a edificio cristalino es por eso que forman el grupo mineral con gran variedad y cantidad que forman la corteza terrestre. (Costafreda Mustelier, 2014)

Las zeolitas anteriormente eran consideradas como un mineral “anecdótico” las cuales se encontraban en las cavidades de rocas volcánicas, también eran conocidas como cristales siendo una colección de cristales. (Costafreda Mustelier, 2014)

El uso de ceniza volcánica natural en Ecuador ha producido factores socioeconómicos y ambientales, entre los que se pueden mencionar (considerando el estudio INIGEMM):

- Como el material puzolánico no genera mayores problemas en cuanto a su proceso de molienda, es por eso que facilita a su secado ya que bastaría con el secado de la luz solar.

- El costo al fabricar un saco de aglomerante calco puzolánico de 50 kg tiene el valor \$5,
- Teniendo en cuanto que este estudio se realizó solo con materiales de investigación.
- Al emplear el aglomerante calco-puzolánico al sustituir por el cemento Portland en un
- 36% (en peso) tiene efecto económico, en la construcción de modelos demostrativos el elemento investigado es del 23,68% del costo total.
- La comparación directa de precios, entre cemento Portland y aglomerante indican que el cemento tradicional es un 66,51% más costoso que la aglomerante cal puzolana, aun cuando la producción con fines investigativos del aglomerante registra proporciones más altas en la mano de obra y demás elementos utilizados.
- Los diferentes ensayos de la calidad de las materias primas, aplicados en la construcción de un modelo prototipo demostrativo, sobre la base de las normas técnicas vigentes en el Ecuador para hormigones (ASTM, INEN), determinaron que la mezcla de 80% de puzolana y 20% de cal presenta mejores características técnico - industriales para el uso del aglomerante calco-puzolánico, como cemento de albañilería en la construcción de viviendas de interés social.

La puzolana de aquellos lugares fue de obtención manual sin necesidad de usar maquinaria grande, lo cual reduce en cuanto al consumo de energía, sin embargo, existen lugares donde su obtención se dificulta y es necesario el uso de maquina grandes, pero a pesar de esto su precio es menor a comparación de la producción del cemento, y como otra ventaja crearía nuevas plazas de trabajo en el campo de nuevo de explotación de puzolanas. (Morante Carballo, 2004)

Según Morante F “El análisis por DRX de las muestras de zeolita P119, Policía y BTEZ indica que todas tienen una estructura muy similar, correspondiente a los tipos de zeolita heulandita y clinoptilolita además de cuarzo y feldespato como mayoritarias, y de arcillas y calcita como minoritarias”. (Morante Carballo, 2004)

Las zeolitas utilizadas en nuestro estudio son zeolitas naturales, sólidos homogéneos polvo habano.

Existen varias minas de Ecuador donde se puede encontrar zeolitas , en la siguiente ilustración 1 podemos visualizar el catastro de minas de zeolita.

Ilustración 1 Catastro de Zeolitas en el Ecuador

Sistema de Referencia WGS84 UTM 17 SUR														
NZ No	Nombre/Mina	Prov.	Cantón	Parroquia	Área (ha)			Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM				
					Extracción	%	Cantonal	Latitud	Longitud	X	Y			
1	Zeonatec*	Guayas	Isidro	Isidro	-	-	-	-1,8957	-80,1464	594939,00	9790357,00			
2	Fausto		Ayora	Ayora	2	0,14	481	-1,8949	-80,1476	595000,00	9790800,00			
3	Zeolita		Lomas de Sargentillo	Lomas de Sargentillo	40	2,79	40	-2,0234	-80,1858	590551,66	9776334,58			
4	Elena		Isidro Ayora	Isidro Ayora		225	5,68	481	-2,0229	-80,1774	591486,02	9776385,89		
5	Diana					4	0,28		-2,0279	-80,1687	592600,00	9776100,00		
6	Bexi					190	3,24		-2,0348	-80,1794	591256,22	9775073,41		
7	Calpacsa SA.					8	0,56		-2,0337	-80,1575	593698,65	9775185,19		
8	Río Paco					12	0,84		-2,0396	-80,1777	591449,80	9774535,87		
9	Pincopaz I					300	0,91		-2,0778	-80,1663	592000,00	9770000,00		
10	Chongón				Chongón		88		6,13	-2,1041	-80,1062	599352,96	9767364,65	
11	Clinop						4		0,28	-2,1124	-80,0657	604000,00	9766800,00	
12	El Refugio						288		20,08	653,60	-2,1179	-80,0401	606200,00	9765400,00
13	Pinto				Guayaquil	Guayaquil			150	10,46	-2,1174	-80,0660	603500,00	9765800,00
14	Pinto II			120			8,36	-2,1249	-80,0646	603500,00	9765000,00			
15	Voluntad de			3,6			0,25	-2,1300	-80,0167	609347,80	9764537,45			
16	Crilarsa C.A.*			-			-	-	-2,1926	-80,0518	605437,20	9757613,80		
17	Indami Cia			-			-	-	-2,1935	-80,0543	605155,00	9757511,00		
18	Calmosacorp		Guayaquil	Chongón		-	-	-	-2,1917	-80,0557	604994,00	9757706,00		
19	Biomarsa					-	-	-	-2,1961	-80,0719	603202,00	9757134,00		
20	Cerro del Tres I		Durán	Durán		24	1,67	24	-2,1773	-79,8347	629900,00	9759200,00		
21	ESPOL*		Guayaquil	Guayaquil		-	-	-	-	-	615139,76	9762722,52		

(Salcedo Rivera, 2021)

Las zeolitas son estructurados en 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. En la ilustración 2 se presenta las principales unidades estructurales de las zeolitas y en la tabla 1 los principales tipos (Luz, 1994). En la ilustración 2 se usa la siguiente simbología: A) Tetraedro con un átomo de Si (círculo lleno) en el centro y átomos de oxígeno en los vértices; B) Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido a un catión monovalente para compensar la diferencia de carga entre el Si y el Al; y C) Átomo Palente para balancear las cargas entre el Al y el Si en una cadena múltiple de tetraedros. (Curi & Granda, s.f.)

Ilustración 2 . Unidades estructurales básicas de las zeolitas

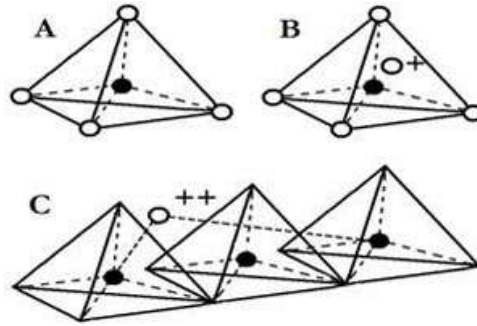


Ilustración 3 Principales tipos de zeolitas naturales

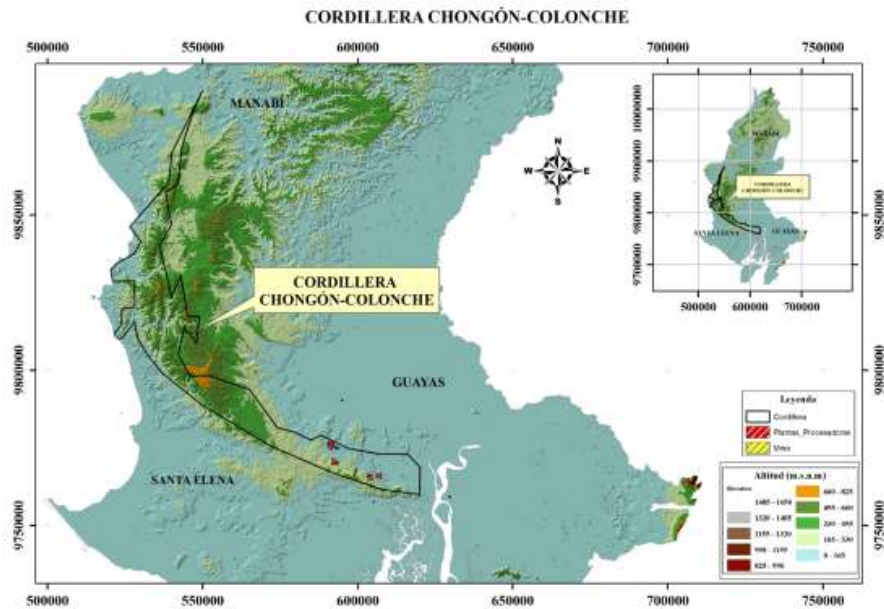
<i>Zeolitas</i>	<i>Formula Química</i>
Laumontita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Clinoptilolita	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_2$ $3\text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Na Ca}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Phillipsita	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_1$ - $2 (\text{Si}, \text{Al})_8 \cdot \text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Erionita	$(\text{K}_2, \text{Ca}, \text{Na}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Offretita	$(\text{K}_2, \text{Ca})_5\text{Al}_{10}\text{Si}_{26}\text{O}_{72} \cdot 30\text{H}_2\text{O}$
Faujzita	$(\text{Na}_2\text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Chabazita	$\text{Ca Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Natrolita	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
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	$\text{Na}, \text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Heulandita	$(\text{Na}, \text{Ca})_2$ - $3\text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

(Adilson Curi, Hernani M, & Sousa, 2006)

5.3.1.1 Catastro Minero y Georreferenciación de Zeolitas Naturales.

El sector en Ecuador que presenta mayor potencialidad de zeolitas Naturales es la cordillera Chongon-Colonche se ubica entre las provincias de Guayas, Santa Elena y Manabí, se desarrolla desde Guayaquil hasta el sector de Olón-Pedro Pablo Gómez, tiene un rumbo de N110°, su geología comprende las rocas de la formación San Mateo, San Eduardo, Guayaquil, Cayo, Piñón y Las Masas como se puede observar en el mapa de la ilustración 4.

Ilustración 4 Mapa ArcGIS de la ubicación de la cordillera Chongón-Colonche



(Medina Robalino, Ureña Aguire, Medina Robalino , & Coello Fiallos, 2022)

5.3.1.2 Impurezas orgánicas en la arena

En los agregados finos naturales a veces se presentan impurezas orgánicas, las cuales menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del concreto. **Fuente especificada no válida.**

La detección del alto contenido orgánico en la arena se lleva a cabo con facilidad por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma ASTM C 40. Algunas impurezas en la arena pueden dar indicación de un elevado contenido orgánico, pero, en realidad, no ser dañino. Se puede determinar esta posibilidad por medio de desarrollar el ensayo descrito en ASTM C 87.

En resumen, la prueba consiste en colocar al interior de unos botes de vidrio claros y transparentes un determinado volumen de arena, añadiendo a continuación una solución de hidróxido de sodio al 3% en un volumen ligeramente mayor que el de la arena. Se tapa el bote se agita vigorosamente de forma tal que la solución se mezcle completamente con todas las partículas de arena y se deja reposar. Al cabo de 24 horas se observa la intensidad de coloración de la solución que está por encima de la arena y se compara a trasluz con un color patrón o una placa orgánica de colores la cual contiene 5 vidrios colores estándar montados en un plástico perforado de tonos que van amarillo claro a café oscuro y numeradas del 1 (más claro) al 5 (más oscuro) y cuyo color patrón es el color No. 3; en este caso se reporta

cuál de los cinco vidrios de color estándar es más cercano al de la muestra. **Fuente especificada no válida.**



Fuente: ASTM C 87-03. Método de prueba para el efecto de impurezas orgánicas del agregado fino

Cuando una muestra sujeta a este procedimiento, produce un color más oscuro que el color estándar del vidrio No. 3 (color estándar Gardner No. 11) de la placa orgánica, el agregado fino bajo prueba debe ser considerado que posiblemente contenga impurezas orgánicas perjudiciales. Este ensayo da advertencia para realizar ensayos adicionales antes de aprobar el agregado fino para concreto.

Un ensayo que se aconseja realizar (si así es decido por los involucrados) es verificar si la arena que presentó un color más oscuro que el color patrón, en la prueba de impureza orgánicas tiende a reducir de manera significativa la resistencia al esfuerzo a compresión en ensayos realizados en unas probetas cúbicas de 2" de morteros elaborados con la arena cuestionada y arena con un proceso de limpieza (lavada); el detalle de este procedimiento se describe en la norma ASTM C 87.

6. ALCANCE

El presente plan de disertación tiene como finalidad obtener muestras de hormigones de 240 kg/cm² 280 kg/cm², empleando diferentes porcentajes de zeolita natural siendo esto reemplazo parcialmente del cemento para poder determinar qué tan beneficioso es y si no disminuye su resistencia para poder demostrar mediante los ensayos de laboratorio que este mineral puede ser o no ser muy valioso y ser reemplazado por el cemento.

7. HIPÓTESIS

Elaborar hormigones con resistencias de 240 kg/cm² y 280 kg/cm², al emplear diferentes porcentajes de zeolita natural, reemplazando parcialmente la cantidad de cemento en su dosificación, influyendo en su resistencia a la compresión.

8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

8.1. VARIABLES

8.1.1. Variable Independiente

Sustitución parcial del cemento por zeolita natural.

8.1.2. Variable Dependiente

- Cantidad de porcentajes de Zeolita en el hormigón.

9. PROCEDIMIENTO MARCO METODOLÓGICO

9.1. TIPO EXPLORATORIO

Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes, es decir cuando la revisión de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio. (Hernández Sampieri, 2014)

Esta investigación será exploratoria, debido a que no se cuenta con información específica sobre la influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón al emplear zeolita natural y la mezcla zeolita-cal como materiales sustitutos parciales del cemento, por lo que se explorará tanto en el nivel de sustitución del cemento como en las características del hormigón.

9.2. TIPO DESCRIPTIVO

De acuerdo a (Del Cid Perez, Méndez, & Sandoval Recinos, 2007) un estudio descriptivo busca caracterizar algo para describirlo de forma apropiada, por lo general se recurre a medir alguna o varias de sus características, en el que se debe estar familiarizado con el objeto de estudio para saber qué y cómo se va a medir lo que nos interesa.

Esta investigación será de tipo descriptivo, porque busca determinar algunas de las propiedades que presenta el hormigón elaborado con materiales sustitutos parciales del cemento, con la finalidad de describir a este tipo de hormigones de forma apropiada.

9.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

9.3.1. Población

En este caso la población será, probetas cilíndricas que se realizarán conforme a lo dispuesto en NTE INEN 1576, para ser ensayadas posteriormente y determinar su resistencia a la compresión.

9.3.2. Muestra

Conforme a la norma NTE INEN 1855-2, para el ensayo de resistencia a la compresión se deben elaborar por lo menos dos cilindros por cada edad que se necesite analizar, pero para resultados más confiables se deberán elaborar tres cilindros.

Para esta investigación se elaborará tres cilindros de ensayo por cada porcentaje de sustitución del cemento (10%, 20% y 30%), para las siguientes edades: 7, 14 y 28 días.

Se realizará 72 cilindros de ensayos conforme al siguiente detalle en la Tabla 1 y los detalles de la metodología utilizada podemos encontrar en Tabla 2.

Tabla 1 Detalles de cilindros a realizar.

HORMIGÓN	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN	EDAD EN DÍAS		
		7	14	28

Hormigón de 240	0%	3	3	3
Hormigón de 280	0%	3	3	3
Hormigón de 240 kg/cm ² con Zeolita en sustitución parcial del cemento	10%	3	3	3
	20%	3	3	3
	30%	3	3	3
Hormigón de 280 kg/cm ² con Zeolita en sustitución parcial del cemento	10%	3	3	3
	20%	3	3	3
	30%	3	3	3
Subtotal de Cilindros		24	24	24
Total, de cilindros		72		

Fuente: De La Cruz Andrea y Escobar Francisco

Tabla 2 Detalles de Metodología

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA / TÉCNICAS
Elaborar hormigones con resistencias de 240 kg/cm ² y 280 kg/cm ² , al emplear diferentes porcentajes de zeolita natural, reemplazando parcialmente la cantidad de cemento en su dosificación, influyendo en su resistencia a la compresión y en su costo.	Sustitución parcial del cemento por zeolita natural	Consistencia	¿Cuál es el asentamiento que presenta el hormigón con la sustitución parcial del cemento? / Observación pruebas de laboratorio, Ficha de registro
		Trabajabilidad	¿Posee una buena trabajabilidad el hormigón con la sustitución parcial del cemento? / Observación pruebas de laboratorio, Ficha de registro
		Homogeneidad	¿El hormigón presenta una distribución uniforme de los componentes, para considerarse homogénea? / Observación pruebas de laboratorio, Ficha de registro
		Composición química y física	¿El reemplazo parcial del cemento por Zeolita natural afecta a las propiedades químicas y físicas del hormigón? / Observación pruebas de laboratorio, Ficha de registro
	Costos del hormigón	Ensayo de la resistencia a la compresión	Como influye la sustitución parcial del cemento por Zeolita en la resistencia del hormigón / Norma NTE INEN 1573, Ficha de registro, Ensayo de laboratorio
	Resistencia del hormigón	Precios unitarios (APUS)	Como influye la sustitución parcial del cemento por Zeolita en el costo del hormigón / Programa de precios unitarios

Fuente: De La Cruz Andrea y Escobar Francisco

CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1.1 ENSAYOS PREVIOS A DOSIFICAR

3.1.1.1. Condición de humedad de los agregados

Representa el contenido de agua en las partículas de los agregados, según la norma NTE INEN 857 considera las siguientes condiciones:

- Seco al horno (SH): Condición en la cual las partículas del agregado han sido secados por calentamiento en un horno a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Saturado superficialmente seco (SSS): Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.
- Humedad natural: Cuando no hay humedad libre o superficial, y parte de los poros internos de la partícula están llenos de agua. Condición que depende del ambiente en que se encuentren los agregados.
- Saturado con superficie húmeda (SSH): Cuando hay humedad superficial, la partícula esta visiblemente mojada, y todos sus poros están llenos de agua.

La norma NTE INEN 857 nos dice que la condición, saturado superficialmente seco (SSS) se considera como una “condición de equilibrio”, que permite determinar la densidad real, capacidad de absorción de los agregados y dosificación del hormigón. (NTE INEN 857, 2010)

3.1.1.2. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

3.1.1.2.1. Granulometría de los agregados

Mediante el análisis granulométrico se obtiene la distribución por tamaños de partículas correspondiente a una muestra de material (agregado fino o grueso), proceso que se lo realiza mediante la utilización de tamices de la serie de Tyler. (Simeon Cañas)

3.1.1.2.2. Granulometría del agregado fino

El agregado fino para ser empleado en el hormigón debe cumplir con lo especificado en la norma NTE INEN 696 [23], equivalente a la norma ASTM C-33, a continuación, en Ilustración 1 se presenta los porcentajes límites dentro de los cuales el agregado fino deberá estar comprendido. (Simeon Cañas)

Ilustración 5 Granulometría del agregado fino

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA.
ASTM	INEN	
3/8"	9.50 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 - 100
N° 8	2.36 mm	80 - 100
N° 16	1.18 mm	50 - 85
N° 30	600 µm	25 - 60
N° 50	300 µm	10 - 30
N° 100	150 µm	2 - 10
N° 200	75 µm	-

Fuente: INEN 872

El ensayo NTE INEN 696, para agregado fino consiste en ubicar de forma descendente los tamices presentados en la tabla N° 1, colocar la muestra de agregado fino que como mínimo es 300 gr, llevar a la tamizadora durante 5 minutos y pesar el material contenido en cada tamiz. Estos datos deberán ser tabulados en una tabla en la que se determina el porcentaje del material que pasa en cada tamiz, para ser evaluado en una gráfica en la que consta el límite inferior y superior de porcentaje que pasa. (Simeon Cañas).

3.1.1.3 Módulo de finura del agregado fino

Este módulo es el indicador de finura del agregado fino, valor que corresponde a la centésima parte de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, y N° 100, este resultado debe estar comprendido en el rango de 2.30 - 3.10 de acuerdo a lo que se indica en NTE INEN 872, para que el agregado pueda ser utilizado en la elaboración de hormigón. (Simeon Cañas)

3.1.1.4. Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso para ser empleado en el hormigón debe cumplir con lo especificado en la norma NTE INEN 696, equivalente a la norma ASTM C-33, a continuación, se presenta los límites de porcentaje dentro de los cuales el agregado grueso deberá estar comprendido ver en (Ilustración 3). (Simeon Cañas)

Ilustración 6 Granulometría agregado grueso

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA.
ASTM	INEN	
2"	53.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95-100
1"	26.50 mm	-
¾"	19.00 mm	35-70
½"	13.20 mm	-
3/8"	9.50 mm	oct-30
Nº 4	4.75 mm	0-5

Fuente: INEN 872

El ensayo NTE INEN 696, para agregado grueso consiste en ubicar de forma descendente los tamices presentados en la tabla N° 4, colocar la muestra de agregado grueso que de acuerdo a la experiencia puede variar entre 5000 y 10000 gr, tamizar la muestra, pesar el material retenido en cada tamiz y determinar el porcentaje de material que pasa por cada tamiz, estos datos analizar en la gráfica elaborada con los límites de porcentaje que pasa. (Simeon Cañas)

Tamaño nominal máximo del agregado grueso: Es el tamaño del tamiz ASTM, anterior al primer tamiz que retuvo el 15% o más del material analizado.

El tamaño nominal máximo (TNM) es el indicador de que en la muestra analizada no se encontrará partículas superiores a las de ese tamiz. De acuerdo a la norma NTE INEN 857, el TNM debe estar en el rango de: $3/4" \leq \text{TNM} \leq 2"$, para considerar al material apto para elaborar hormigón. (Simeon Cañas)

NTE INEN 696 proporciona una tabla en la que indica la masa de la muestra de agregado grueso que debe ser ensayado, correspondiente al TNM, el TNM es un parámetro que se obtiene después de realizar la granulometría del agregado por lo que este ensayo se deberá repetir si la masa de la muestra no corresponde al del TNM. (Simeon Cañas)

3.1.1.4. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados
Según la norma NTE INEN 858:

3.1.1.4.1 Densidad aparente compactada de los agregados

Esta prueba consiste en colocar un agregado dentro de un molde metálico cuyo volumen y peso conocemos, este agregado se coloca en tres capas y cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla de compresión distribuidos uniformemente en la superficie, la tercera capa debe estar al ras con el ayuda de la varilla, y el peso del molde más añadido. (NTE INEN 857, 2010)

3.1.1.4.2 Densidad aparente suelta de los agregados

En esta prueba se coloca un agregado en un molde metálico de volumen y peso conocido, el agregado no se condensa y la superficie se nivela, se debe pesar el molde más el agregado, de esta forma se obtiene la masa por unidad de masa. del agregado incluido los vacíos. (NTE INEN 857, 2010)

3.1.1.4.3 Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados

Para esta prueba, los áridos se mezclan en diferentes porcentajes, este material se coloca en un molde metálico con volumen y peso conocido para obtener la relación existente entre masa y volumen, se coloca los áridos en tres capas, cada una comprimida por 25 golpes de varilla; con el fin de obtener el porcentaje óptimo de árido fino y grueso para su uso en la dosis de hormigón. (NTE INEN 857, 2010)

El porcentaje óptimo se obtiene restando 4% del porcentaje de agregado fino correspondiente al porcentaje máximo aparente, resultando en un aumento del 4% en el porcentaje de agregado bruto. (NTE INEN 857, 2010)

3.1.1.5. Gravedad específica del agregado grueso

En esta norma nos describe el procedimiento para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso. La gravedad específica puede ser expresada como la gravedad específica bulk, gravedad específica bulk (SSD), o gravedad específica aparente. La gravedad específica bulk (SSD) y la absorción, se basan en agregados sumergidos en agua después de 24 horas. (Esparza Villalba, 2009)

$$\text{Gravedad específica Bulk } \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra seca (gr).

B= Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en (gr).

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en (gr).

$$\% \text{ Absorción } \frac{B - A}{A} * 100$$

3.1.1.9. Abrasión

Medir el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado de granulometría preparada. La prueba consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico (giratorio), a una determinada velocidad. (ASTM C 131 - 01)

La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática. Ver en (Ilustración 5) el número de revoluciones que debe girar la máquina de los Ángeles: 500 vueltas (16 min y 40 seg). (ASTM C 131 - 01)

Ilustración 7 Cantidad de material por diámetro de tamiz

<i>DIAMETRO DE TAMIZ</i>	<i>CANTIDAD DE MATERIAL(g)</i>
1"	1250 + 5
1/2 "	1250 - 4
3/4 "	1250 + 1
3/8 "	1250 + 0
PESO TOTAL	5000 + 2
<i>Nº de esferas</i>	12
<i>Nº de revoluciones</i>	500
<i>Tiempo</i>	15min

FUENTE:UNSM

$$\%DESGASTE = (P1 - P2) * 100$$

- P1 = Peso de la muestra seca antes del ensayo.
- P2 = Peso de la muestra seca después del ensayo retenido en el tamiz No. 12.

3.1.1.8 Elaboración y Curado de cilindros

Para realizar el ensayo a compresión del hormigón, se moldean especímenes cilíndricos de ensayo para esto se necesitará los siguientes elementos:

- Moldes cilíndricos para formar los especímenes.
- Varilla apisonadora con punta redondeada de 5/8" (15 mm) de diámetro para cilindros de 6" X 12" o de 3/8" de diámetro para cilindros de 4" X 8", o un vibrador.
- Mazo de caucho de 1.25 +/- 0.50 lb (0.6 +/- 0.2 kg).
- Pala, llana de madera, espátula o palustre y cuchara.
- Carretilla u otro contenedor apropiado.
- Tanque de agua o cuarto de curado con suficiente provisión para mantener el ambiente de curado necesario durante el período inicial.
- Equipo de seguridad apropiado para el manejo de la mezcla concreto en estado plástico.

El muestreo debe llevarse a cabo según la ASTM C 172, Prácticas normalizadas para el muestreo de concreto recién mezclado. (CivilGeek, 2021)

3.1.1.8.1. Ensayo de asentamiento:

El asentamiento es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto. (NTC 396). (CivilGeek, 2021)

3.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Entonces, dosificar un hormigón es encontrar, para cada material componente, la cantidad necesaria para que el producto final tenga las características que yo quiera.

Para realizar la dosificación de un hormigón, encontramos dos formas prácticas de hacerlo: una es pesando los materiales componentes (en kg) y la otra es midiendo los mismos en volúmenes aparentes (m³).

Otra opción puede ser comprar el hormigón ya elaborado, dosificado por una planta que para hacerlo pesa los distintos materiales componentes. (Laboratorio de Ensayos de Materiales, 2014)

Con cualquiera de estos métodos podemos dosificar, sin embargo, se recomienda establecer qué se priorizará: tiempo o precisión.

Para la siguiente disertación se usó el método de dosificación al peso donde se pesó diferentes materiales tanto como agregados, cemento, agua y zeolita dependiendo del resultado obtenido después de obtener los resultados de todos los ensayos antes mencionados.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 Ensayo de los Agregados

4.1.1.1. Humedad del agregado Fino

Luego de realizar los ensayos de caracterización de agregados se obtuvo los siguientes resultados en cuanto a la humedad del agregado fino utilizado los cuales podemos ver en la (tabla3).

Tabla 3 Humedad del agregado fino

Masa de la muestra original (kg)	31.86
Masa de la muestra seca (kg)	27.06
Humedad	17.74%

4.1.1.2. Humedad del agregado Grueso ver en tablas 5.

En cuanto a los resultados a la humedad del agregado grueso utilizado los cuales podemos ver en la (tabla4).

Tabla 4 Humedad del agregado grueso

Masa de la muestra original (kg)	29.6
Masa de la muestra seca (kg)	29.2
Humedad	1.37%

4.1.1.3. Granulometría y módulo de finura del agregado Fino.

Una vez realizado los ensayos se pudo obtener la tabla de resultados de la granulometría del agregado fino donde se detalla en la tabla 5, en la figura 1 podemos observar la gráfica de las curvas de la granulometría del agregado fino y en la tabla 7 podemos encontrar el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 5 Granulometría del agregado fino

GRANULOMETRIA A. FINO (g)					
TAMIZ		LÍMITE INFERIOR (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	LÍMITE SUPERIOR (%)	Condicional
pulg	mm				
No.4	4.75	95	100.00	100	CUMPLE
No.8	2.36	80	98.29	100	CUMPLE
No.16	1.18	50	96.14	85	NO CUMPLE
No.30	0.6	25	87.57	60	NO CUMPLE
No.50	0.3	5	34.71	30	NO CUMPLE
No.100	0.15	0	14.71	10	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 1 GRÁFICA DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

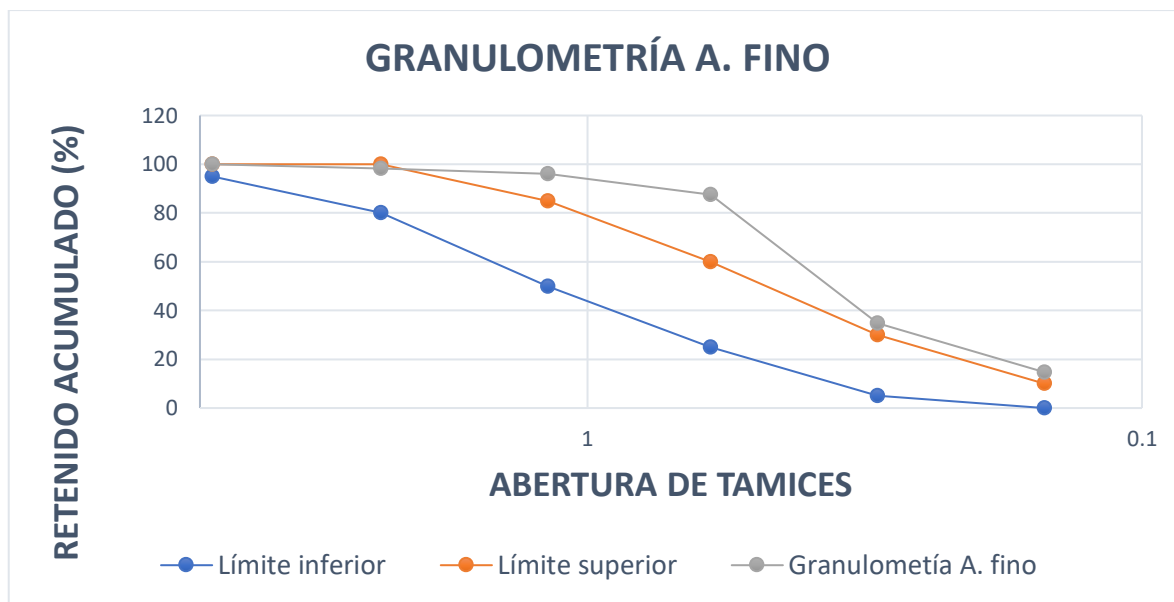


Tabla 6 Módulo de finura del agregado fino

Peso inicial de la muestra = 700 g					
TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PESO RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO (%)
pulg	mm				
No.4	4.75	0	0	0.00	0.00
No.8	2.36	12	12	1.71	1.71
No.16	1.18	15	27	2.14	3.86
No.30	0.6	60	87	8.57	12.43
No.50	0.3	370	457	52.86	65.29
No.100	0.15	140	597	20.00	85.29
				MF=	1.69

TIPO DE ARENA	LÍMITE INFERIOR (%)	MF	LÍMITE SUPERIOR (%)	Condicional
Ar. gruesa	2.5	1.69	3.5	NO CUMPLE
Ar. fina	1.5	1.69	2.5	CUMPLE
Ar. muy fina	0.5	1.69	1.5	NO CUMPLE

4.1.1.4. Granulometría y módulo de finura del agregado Grueso

Una vez realizado los ensayos se pudo obtener la tabla de resultados de la granulometría del agregado grueso donde se detalla en la tabla 7, en la figura 2 podemos observar la gráfica de las curvas de la granulometría del agregado grueso y en la tabla 8 podemos encontrar el módulo de finura del agregado grueso.

Tabla 7 Granulometría del agregado grueso

GRANULOMETRÍA GRUESO (kg)					
TAMIZ		LÍMITE INFERIOR (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	LÍMITE SUPERIOR (%)	Condicional
pulg	mm				
1 1/2	37.5	100	100.00	100	CUMPLE
1	25	90	96.78	100	CUMPLE
3/4	19	20	72.86	85	CUMPLE
1/2	12.5	10	36.35	40	CUMPLE
3/8	9.5	0	18.76	15	NO CUMPLE
No. 4	4.75	0	3.16	5	CUMPLE

Figura 2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

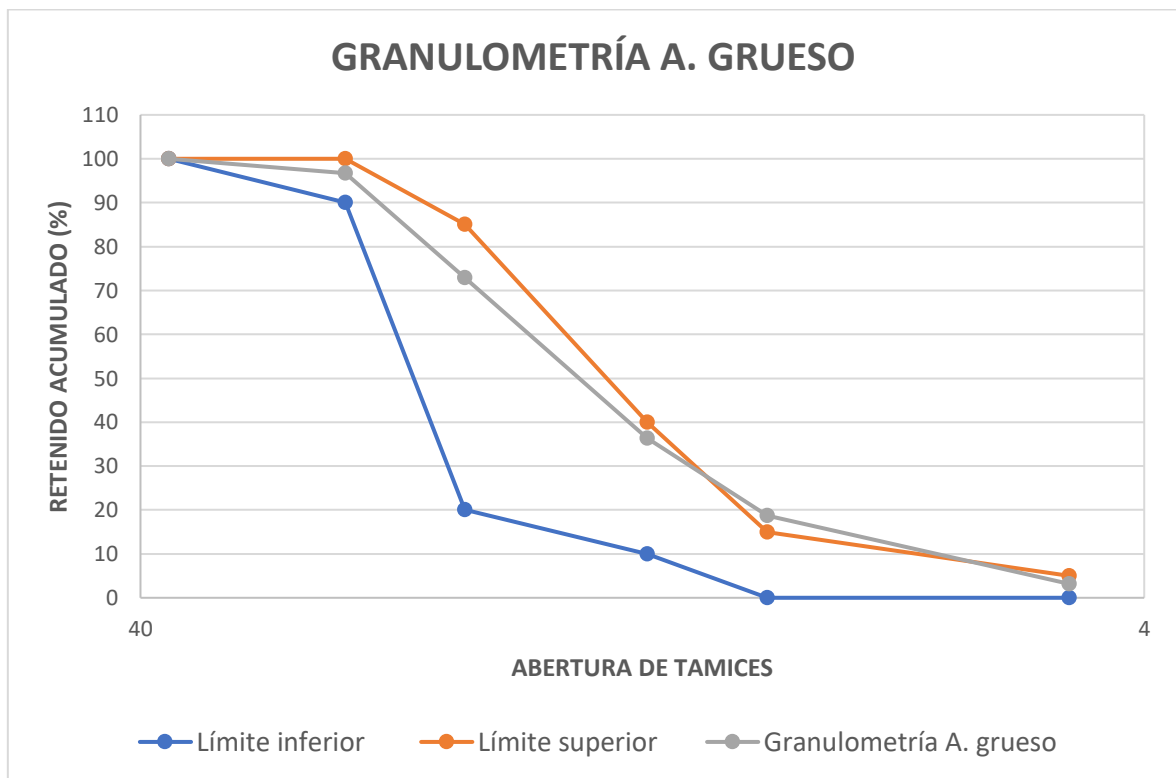


Tabla 8 Módulo de finura del agregado grueso

Peso inicial de la muestra = 16 kg					
TAMIZ		PESO RETINIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PESO RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO (%)
pulg	mm				
1 1/2	37.5	0	0	0.00	0.00
1	25	0.516	0.516	3.23	3.23
3/4	19	3.827	4.343	23.92	27.14
1/2	12.5	5.841	10.184	36.51	63.65
3/8	9.5	2.815	12.999	17.59	81.24
No. 4	4.75	2.495	15.494	15.59	96.84
				MF=	6.79

LÍMITE INFERIOR (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	LÍMITE SUPERIOR (%)	Condicional
6.2	6.79	8.9	CUMPLE

4.1.1.4. Abrasión de agregados

Al finalizar el ensayo de abrasión del agregado grueso se obtuvo los siguientes resultados.

Masa de la muestra inicial (g)	5006
Masa de la muestra final (g)	2016
Desgaste	60%

4.1.1.5 Peso unitario del agregado fino

Peso unitario suelo					
Muestra	Muestra + molde (g)	Peso del molde (g)	Peso de la muestra (g)	Volumen del molde (cm ³)	Peso Unitario Suelto PUS (g/cm ³)
PUS	9120	5050	4070	2980	1.37

Peso unitario compactado

Muestra	Muestra + molde (g)	Peso del molde (g)	Peso de la muestra (g)	Volumen del molde (cm3)	Peso Unitario compactado PUS (g/cm3)
PUC	9560	5050	4510	2980	1.51

4.1.1.6 Peso unitario del agregado grueso

Peso unitario suelo					
Muestra	Muestra + molde (g)	Peso del molde (g)	Peso de la muestra (g)	Volumen del molde (cm3)	Peso Unitario Suelto PUS (g/cm3)
PUS	23150	8530	14620	9950	1.47

Peso unitario compactado					
Muestra	Muestra + molde (g)	Peso del molde (g)	Peso de la muestra (g)	Volumen del molde (cm3)	Peso Unitario compactado PUS (g/cm3)
PUC	25060	8530	16530	9950	1.66

4.1.1.8 Gravedad Específica del agregado fino

En la siguiente tabla 9 podemos ver los resultados del ensayo de la gravedad específica del agregado fino usado para nuestra evaluación.

Tabla 9 Gravedad Específica del agregado fino

GS FINO	
MASA DEL MATRAZ	142.30 gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	642.30 gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	948.70 gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	500.10 gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	485.40 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	2.51
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	2.58
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	2.71
PORCENTAJE DE ABSORCION	3.0 %

4.1.1.8 Gravedad Específica del agregado grueso

Luego de realizar los ensayos de gravedad específica del agregado grueso obtuvimos los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla 10.

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = B / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (A - C)$$

Tabla 10 Gravedad Específica del agregado grueso

GS GRUESO		
MASA DE LA MUESTRA SECA	3960.00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	3990.00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	2608.00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	2.87	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	2.89	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	2.93	
PORCENTAJE DE ABSORCION	0.76	%

Fuente: DE LA CRUZ A, ESCOBAR F.

Se realiza el ensayo de impurezas orgánicas de la arena y se compara por medio de una placa orgánica de colores y los resultados se pueden apreciar a continuación.

Ilustración 8 Comparación de colores por medio de una placa orgánica de colores



Al realizar la comparación visual se observa que el color del líquido por encima de la muestra de arena se asemeja más al color No. 2 de placa orgánica de colores. Por tanto, lo que debe interpretarse que la arena puede ser utilizada para concreto o morteros

NORMAS

- ASTM C 33-03. Especificación para agregados para concreto.
- ASTM C 87-03. Método de prueba para el efecto de impurezas orgánicas del agregado fino en el esfuerzo del mortero.

4.1 Dosificación al peso

Para realizar la dosificación al peso de un metro cúbico de hormigón se requiere las cantidades en peso de:

- ARIDO GRUESO
- ARIDO FINO
- RELACIÓN A/C

En la siguiente tabla podemos encontrar una estimación de la consistencia del hormigón en función del asentamiento podemos ver en la siguiente tabla 11.

Tabla 11 Asentamiento por tipo de consistencia

Tipo	Valoración cualitativa	Asentamiento (mm)
A1	Seca	10 a 40
A2	Plástica	50 a 90
A3	Blanda	100 a 150
A4	Fluida	160 a 210
A5	Muy fluida	> 220

NC 120:2014

Para poder obtener una dosificación correcta se realiza varias mezclas de hormigón con diferentes relaciones de A/C, como podemos observar en la figura 3 se utilizó una relación A/C de 0.6, en la siguientes (figura 4) una relación de A/C de 0.5 y en la (figura 5) se utilizó una relación de A/C de 0.4 donde cada cilindro se ensayó a resistencia a la compresión a los 7 y 28 días y se tuvo una curva de resistencia ver en (figura 6).

Figura 3 DOSIFICACIÓN A/C =0.6

RESUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA		UNIDADES
Cuántos cilindros de hormigón desea hacer	3.1	u
Volumen de hormigón a mezclar	0.017	m ³
Agua neta	4.95	kg
Agua de mezcla	2.65	kg
Cemento	8.26	kg
Agregado fino	17.50	kg
Agregado grueso	10.50	kg
Aditivo		
Relacion A/C:	0.6	
Asentamiento:	12	

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Figura 4 DOSIFICACIÓN A/C =0.5

RESUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA		UNIDADES
Cuántos cilindros de hormigón desea hacer	3.5	u
Volumen de hormigón a mezclar	0.020	m ³
Agua neta	5.59	kg
Agua de mezcla	3.14	kg
Cemento	11.19	kg
Agregado fino	18.65	kg
Agregado grueso	11.19	kg
Aditivo		
Relacion A/C:	0.5	
Asentamiento:	10	

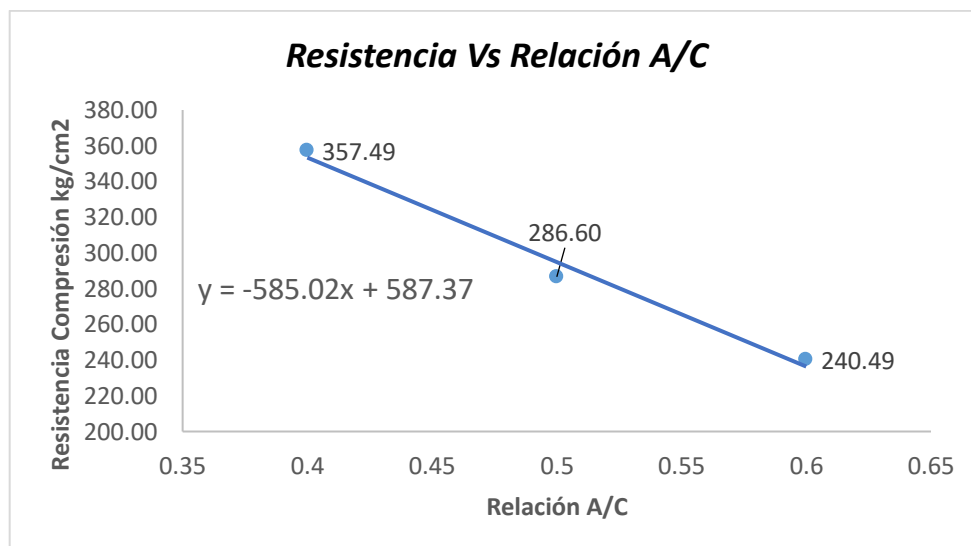
Fuente: De la Cruz, Escobar.

Figura 5 DOSIFICACIÓN A/C =0.4

RESUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA		UNIDADES
Cuántos cilindros de hormigón desea hacer	3.5	u
Volumen de hormigón a mezclar	0.020	m ³
Agua neta	5.59	kg
Agua de mezcla	3.36	kg
Cemento	13.98	kg
Agregado fino	16.99	kg
Agregado grueso	10.19	kg
Aditivo		
Relacion A/C:	0.4	
Asentamiento:	8	

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Figura 6 CURVA RESISTENCIA VS A/C



Fuente: De la Cruz, Escobar.

Una vez ensayado los cilindros a la resistencia a compresión se pudo observar en la curva de resistencia vs A/C la opción más factible de dosificación ver (figura 7). Una vez obtenida nuestra dosificación procedimos a realizar la dosificación para un metro cúbico.

Figura 7 DOSIFICACIÓN ELEGIDA PARA F' C 240

RESUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA		UNIDADES
Cuántos cilindros de hormigón desea hacer	3.5	u
Volumen de hormigón a mezclar	0.020	m ³
Agua neta	5.59	kg
Agua de mezcla	3.13	kg
Cemento	10.97	kg
Agregado fino	18.78	kg
Agregado grueso	11.27	kg
Aditivo		
Relacion A/C:	0.43	
Asentamiento:	8	

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Figura 8 DOSIFICACIÓN ELEGIDA PARA F'c 280

RESUMEN PARA LA MEZCLA DE PRUEBA		UNIDADES
Cuántos cilindros de hormigón desea hacer	3.5	u
Volumen de hormigón a mezclar	0.020	m ³
Agua neta	5.59	kg
Agua de mezcla	3.24	kg
Cemento	12.43	kg
Agregado fino	17.90	kg
Agregado grueso	10.74	kg
Aditivo		
Relacion A/C:	0.43	
Asentamiento:	8	

Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.2 Ensayos de Hormigón Endurecido

4.2.1 Resistencia a la compresión

4.2.1.1 Hormigón f'c 240

En la (tabla 12) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 6).

Tabla 12 Datos del ensayo de compresión de cilindros

Cálculo de la resistencia a la compresión 240 kg/cm²									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en dias	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.045	14.919	15.024	15.045	14.919	15.024	14.9	15.1	15.3
Diámetro 2 (cm):	15.193	15.03	15.181	15.193	15.03	15.181	15.1	15.2	15.1
Diametro prom	15.12	14.97	15.10	15.12	14.97	15.10	15.00	15.15	15.20
Altura 1 (cm):	29.9	30	30.2	29.9	30	30.2	30.1	30.2	30.5
Altura 2 (cm):	29.8	29.9	30	29.8	29.9	30	30.3	30	30.6
Altura 3 (cm):	30	29.9	30.1	30	29.9	30.1	30.1	29.8	30.4
Altura promedio	29.90	29.93	30.10	29.90	29.93	30.10	30.17	30.00	30.50
Masa (kg)	12.43	12.31	12.35	12.43	12.31	12.35	12.24	12.34	12.98
Carga:	277.6	289.5	279.7	392.5	387.8	397.8	454.5	463	420.2
Resistencia:	157.67	167.62	159.21	222.93	224.54	226.44	262.26	261.90	236.13
Promedio Resis.:	161.50			224.64			253.43		
Relación A/C :	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 9 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 a los 7 días,14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.2 Hormigón f'c 240 con 10 % de zeolita.

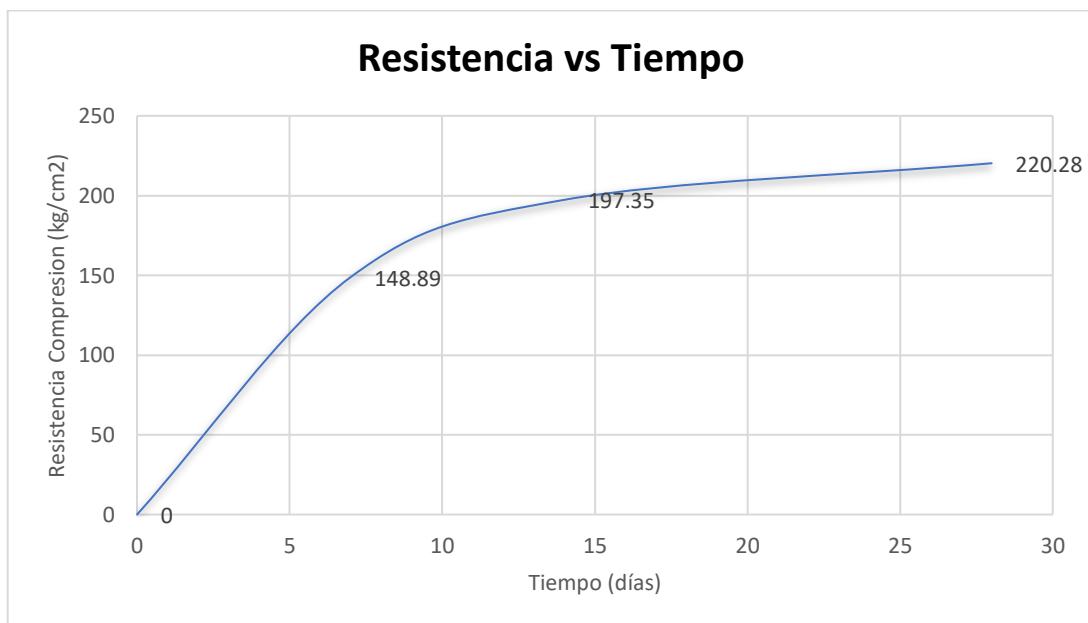
En la tabla 13 podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 10 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 7).

Tabla 13 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 10% de Zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 240 kg/cm²---10% Zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.11	15.313	15.313	15.2	15.3	15.1	15.13	15.09	15.24
Diámetro 2 (cm):	15.029	15.053	15.053	15.1	15.2	15.3	15.29	15.19	15.12
Diámetro prom	15.07	15.18	15.18	15.15	15.25	15.20	15.21	15.14	15.18
Altura 1 (cm):	29.8	30.3	30.4	30.5	30	30.2	30.1	29.9	30.2
Altura 2 (cm):	30.1	30.1	30.3	30.7	29.9	30.1	29.9	30.1	30.4
Altura 3 (cm):	29.8	30	30.6	30.3	30.1	30.3	30.1	30.2	30.1
Altura promedio	29.90	30.13	30.43	30.50	30.00	30.20	30.03	30.07	30.23
Masa (kg)	12.05	12.34	12.38	12.54	12.14	12.22	12.05	12.34	12.38
Carga:	242.8	280.8	265.8	365.1	340.5	347.8	384.7	395.7	391.9
Resistencia:	138.81	158.15	149.70	206.52	190.09	195.45	215.90	224.13	220.81
Promedio Resis.:	148.89			197.35			220.28		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 10 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 10% a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.3 Hormigón f'c 240 con 20 % de zeolita.

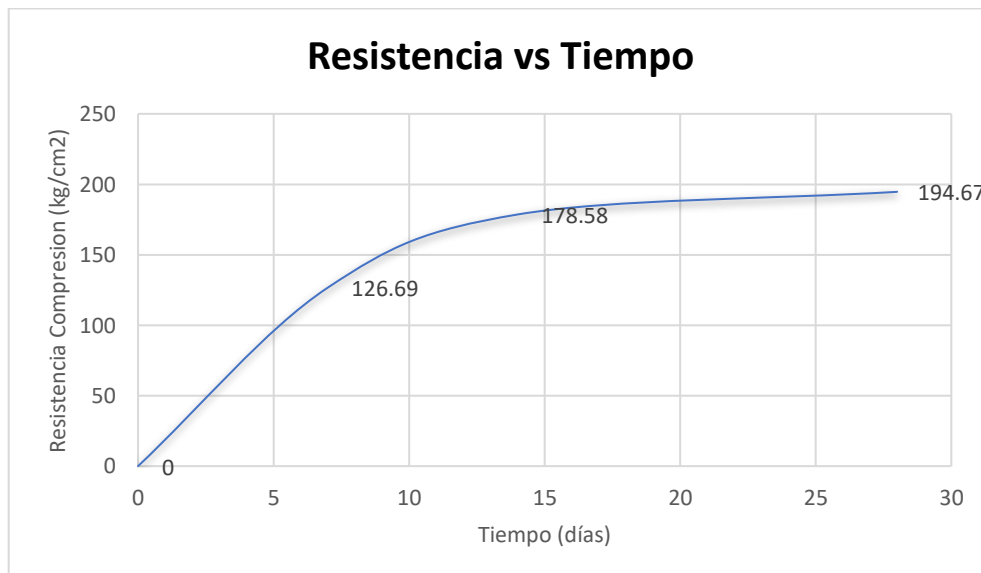
En la tabla 14 podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 20 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 8).

Tabla 14 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 20% de Zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 240 kg/cm²---20% Zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	14.99	15.141	15.08	14.9	15.3	15.2	15.13	15.09	15.24
Diámetro 2 (cm):	15.123	15.226	15.006	15.1	14.9	15.1	15.29	15.19	15.12
Diametro prom	15.06	15.18	15.04	15.00	15.10	15.15	15.21	15.14	15.18
Altura 1 (cm):	30	30.4	30	30.4	30.2	30.5	30.1	29.9	30.2
Altura 2 (cm):	30.1	30.5	30.1	30.2	30.2	30.7	29.9	30.1	30.4
Altura 3 (cm):	30	30.5	30	30	30.4	30.3	30.1	30.2	30.1
Altura promedio	30.03	30.47	30.03	30.20	30.27	30.50	30.03	30.07	30.23
Masa (kg)	12.25	12.45	12.23	12.08	12.2	12.54	12.05	12.34	12.38
Carga:	220.7	221.3	224.9	304	319.2	315.7	348.7	341.2	346.2
Resistencia:	126.40	124.63	129.03	175.42	181.76	178.58	195.69	193.26	195.06
Promedio Resis.:	126.69			178.58			194.67		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 11 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 20% a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.4 Hormigón f'c 240 con 30 % de zeolita.

En la (tabla 15) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 30 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 9).

Tabla 15 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 240 y 30% de Zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 240 kg/cm²---30% Zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.326	15.123	15.08	15.066	15.066	15.13	15.051	15.415	15.046
Diámetro 2 (cm):	15.136	15.247	14.575	15.414	15.393	15.23	15.42	15.07	15.455
Diametro prom	15.23	15.19	14.83	15.24	15.23	15.18	15.24	15.24	15.25
Altura 1 (cm):	30.2	30.2	30.3	30.7	30.4	30.4	30	30	30.5
Altura 2 (cm):	29.8	29.8	30.2	30.6	30.9	29.9	30.1	30	30.6
Altura 3 (cm):	30.3	30.1	30.3	30.3	30.4	30.1	30.3	30.3	30.5
Altura promedio	30.10	30.03	30.27	30.53	30.57	30.13	30.13	30.10	30.53
Masa (kg)	12.01	12.11	11.96	12.29	12.74	11.98	12.06	11.93	12.76
Carga:	109.3	105	126.3	154.1	129.4	132.9	195.7	197.9	198.4
Resistencia:	61.17	59.12	74.58	102.00	72.43	74.88	109.46	110.59	110.75
Promedio Resis.:	64.96			83.10			110.27		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 12 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 30% a los 7 días,14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.5 Hormigón f'c 280

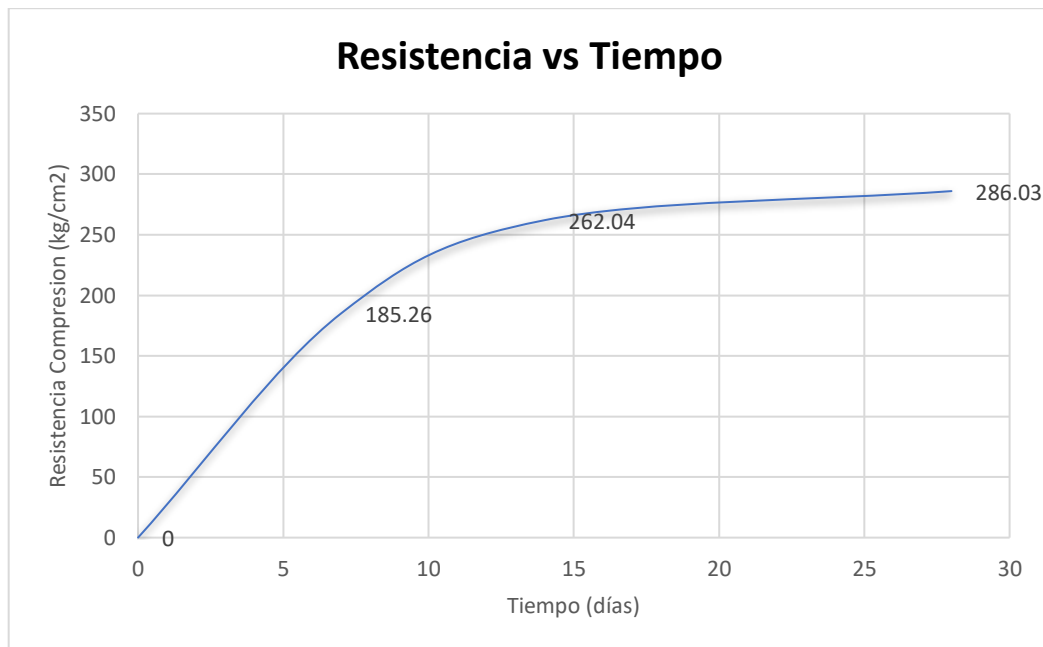
En la (tabla 16) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 280, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 10).

Tabla 16 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280

Cálculo de la resistencia a la compresión 280 kg/cm²									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.03	15.09	15.01	15.03	15.21	15.12	15.11	15.03	15.01
Diámetro 2 (cm):	15.01	15.05	14.98	14.89	14.99	15.08	15.09	15.05	15.00
Diámetro prom	15.02	15.07	15.00	14.96	15.10	15.10	15.10	15.04	15.00
Altura 1 (cm):	30.4	30.6	30.4	31	32	31	29.9	30.4	29.9
Altura 2 (cm):	30.3	30.2	30.1	31	32	30	30.1	30.2	29.9
Altura 3 (cm):	30.6	30.7	29.9	30	30	30	30.1	30.1	30
Altura promedio	30.43	30.50	30.13	30.67	31.33	30.33	30.03	30.23	29.93
Masa (kg)	12.38	12.66	12.19	12.24	12.28	12.22	12.67	12.29	12.51
Carga:	318	321.9	326.9	460.9	460.3	450.7	485.2	496.1	515.1
Resistencia:	182.98	184.05	188.76	267.38	262.10	256.64	276.23	284.82	297.05
Promedio Resis.:	185.26			262.04			286.03		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 13 Curva de resistencia Hormigón f'c 280 a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.6 Hormigón f'c 280 con 10 % de zeolita.

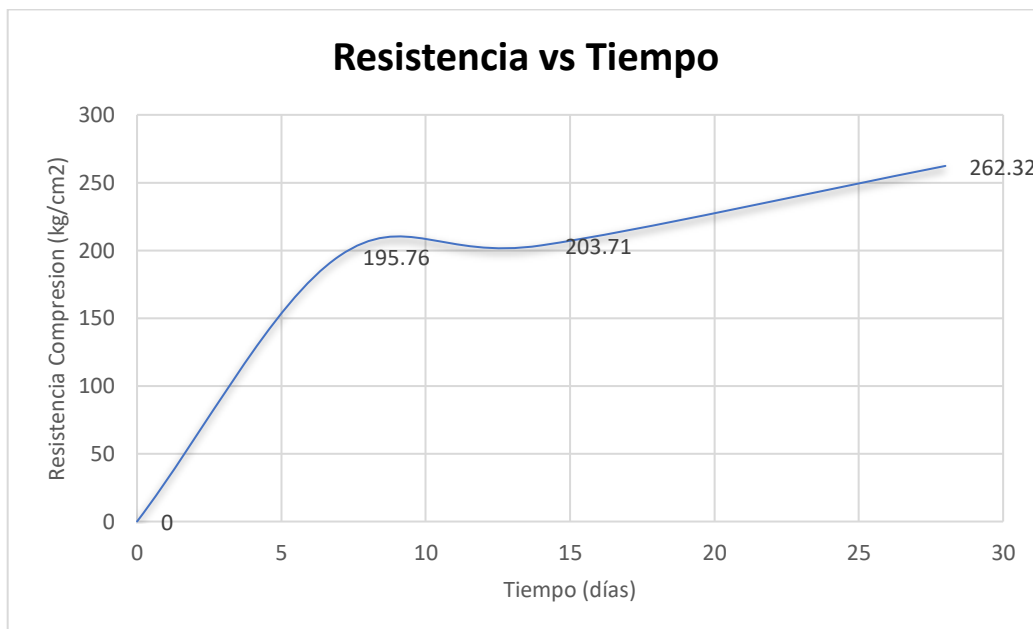
En la (tabla 17) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 30 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 11).

Tabla 17 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 10% zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 280 kg/cm²-----10% zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.02	15.12	15.14	15.3	15.24	15.11	15.13	14.99	15.19
Diámetro 2 (cm):	15.15	15.8	15.09	15.15	15.3	15.029	15.24	15.11	15.25
Diametro prom	15.09	15.46	15.12	15.23	15.27	15.07	15.19	15.05	15.22
Altura 1 (cm):	30.1	30	30.2	30.6	30.1	30.1	30	30.2	29.9
Altura 2 (cm):	30.2	29.9	30	30.4	29.9	29.8	29.9	29.9	30.2
Altura 3 (cm):	30.3	30.3	30.1	30.7	30.2	29.9	30.1	30.1	30.1
Altura promedio	30.20	30.07	30.10	30.57	30.07	29.93	30.00	30.07	30.07
Masa (kg)	12.02	12.09	11.87	12.12	12.21	12.34	12.02	11.81	12.1
Carga:	403.2	309.6	332.7	356.2	373.9	355.8	457.3	458.6	475.7
Resistencia:	230.04	168.18	189.07	199.51	208.19	203.42	257.49	262.87	266.62
Promedio Resis.:	195.76			203.71			262.32		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 14 Curva de resistencia Hormigón f'c 280 con 10% a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.7 Hormigón f'c 280 con 20 % de zeolita.

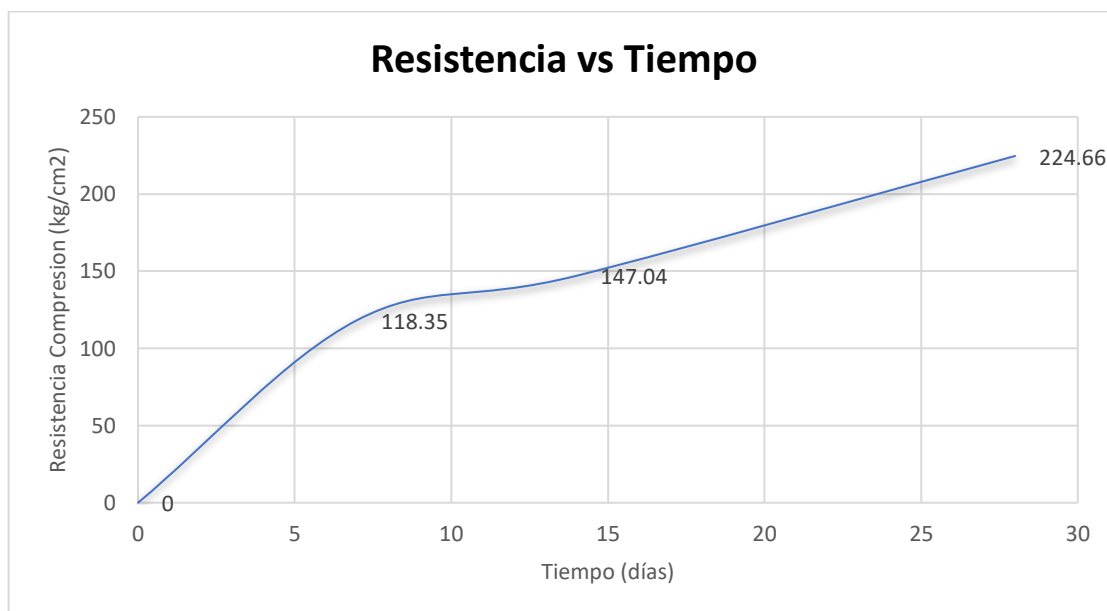
En la (tabla 18) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 30 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 12).

Tabla 18 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 20% zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 280 kg/cm²-----20% zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.3	15.1	15.2	15.326	15.121	15.012	15.37	15.18	15.09
Diámetro 2 (cm):	15.3	15	15.1	15.121	15.191	15.021	15.42	15.23	14.99
Diametro prom	15.30	15.05	15.15	15.22	15.16	15.02	15.40	15.21	15.04
Altura 1 (cm):	30.2	30	30	30.2	30.1	29.9	30.4	30.5	30.1
Altura 2 (cm):	30.1	30.3	30.5	30	30.5	29.8	30.6	30.4	30.3
Altura 3 (cm):	29.9	30	30.5	30	30.5	30	30.5	30.5	30
Altura promedio	30.07	30.10	30.33	30.07	30.37	29.90	30.50	30.47	30.13
Masa (kg)	12.63	12	12.42	12.25	12.33	12.15	12.62	12.42	12.01
Carga:	221.4	193.9	214.11	259.7	273.9	244.6	398.2	403.9	399
Resistencia:	122.79	111.14	121.11	145.49	154.81	140.83	218.13	226.82	229.01
Promedio Resis.:	118.35			147.04			224.66		
Relación A/C:	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 15 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 20% a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.8 Hormigón f'c 280 con 30 % de zeolita.

En la (tabla 19) podemos observar los datos que se obtuvieron al ensayar los cilindros con hormigón de f'c 240 y 30 % de zeolita como reemplazo parcial del cemento, los cuales fueron utilizados para realizar la curva de resistencia vs tiempo la cual está representada en la (ilustración 13).

Tabla 19 Datos del ensayo de compresión de cilindros de hormigón de 280 con 30% zeolita

Cálculo de la resistencia a la compresión 280 kg/cm²-----30% zeolita									
Identificación:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo en días	7			14			28		
Diámetro 1 (cm):	15.09	15.9	15.09	15.051	15.019	150.25	15.11	15.15	15.09
Diámetro 2 (cm):	15.12	15.16	16.15	15.081	15.021	150.37	15.13	16.09	16.15
Diametro prom	15.11	15.53	15.62	15.07	15.02	150.31	15.12	15.62	15.62
Altura 1 (cm):	30.6	30.6	29.9	30.3	29.9	30.2	30.2	30.1	29.9
Altura 2 (cm):	30.7	30.2	29.7	30.1	29.8	30.4	30.4	30	29.7
Altura 3 (cm):	30.9	30.3	30.9	30.4	30	29.9	30.1	30.2	30.9
Altura promedio	30.73	30.37	30.17	30.27	29.90	30.17	30.23	30.10	30.17
Masa (kg)	11.83	11.94	11.83	12.06	12.15	12.31	11.85	11.89	11.83
Carga:	145.5	149.1	317.9	237.2	244.6	333.8	313	312.5	317.9
Resistencia:	82.79	80.26	169.17	135.68	140.77	1.92	177.76	166.29	169.17
Promedio Resis.:	110.74			92.79			171.07		
Relación A/C :	0.43			0.43			0.43		

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 16 Curva de resistencia Hormigón f'c 240 con 30% a los 7 días, 14 días y 28 días.



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.9 Comparación a los 7 días de todas las dosificaciones de Hormigón f'c 240

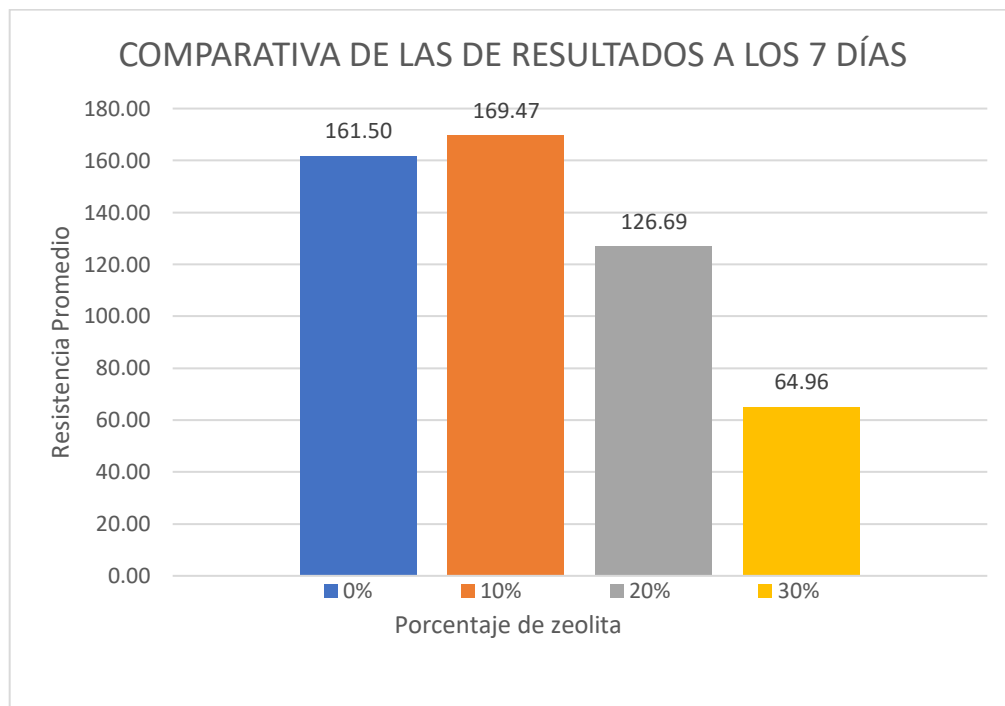
Al obtener todos los resultados de la resistencia a compresión de todos los cilindros se realizará cuadros comparativos donde podemos visualizar a los 7 días con un hormigón de 240 en la tabla 20 y en la ilustración 14.

Tabla 20 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 7 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 7 DÍAS	
f'c	240 kg/cm ²
65% f'c	156 kg/cm ²
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	161.50
10%	169.47
20%	126.69
30%	64.96

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 17 Cuadro comparativo a los 7 días f'c 240



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.10 Hormigón f'c 240 comparación a los 14 días de todas las dosificaciones

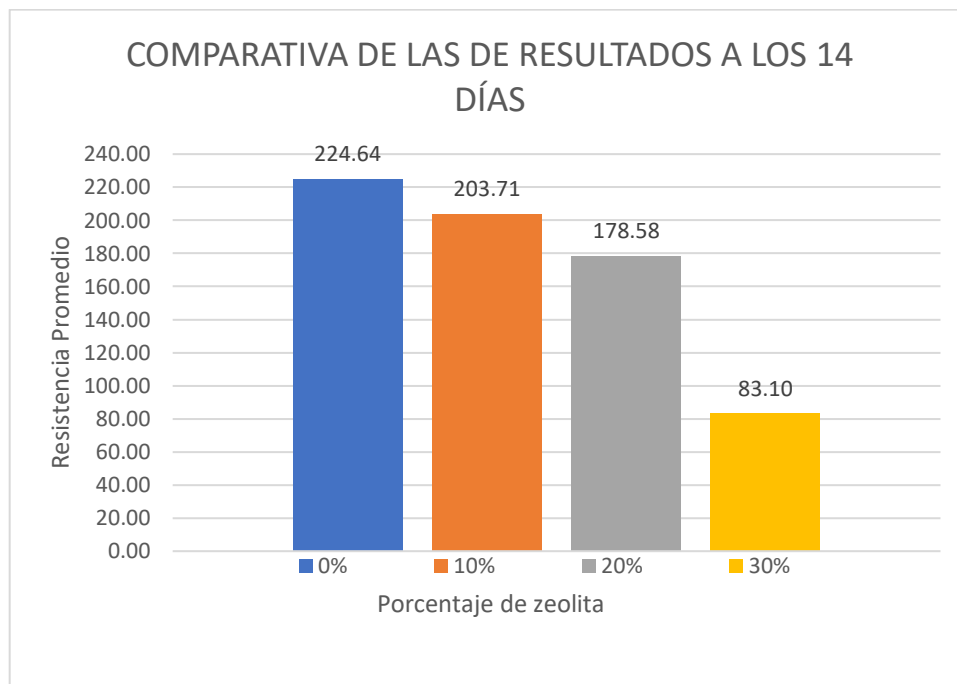
Podemos visualizar a los 14 días con un hormigón de 240 en la tabla 21 y en la ilustración 15.

Tabla 21 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 14 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 14 DÍAS	
f _c	240 kg/cm ²
90% f _c	216 kg/cm ²
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	224.64
10%	203.71
20%	178.58
30%	83.10

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 18 Cuadro comparativo a los 14 días f_c 240



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.11 Hormigón f_c 240 comparación a los 28 días de todas las dosificaciones

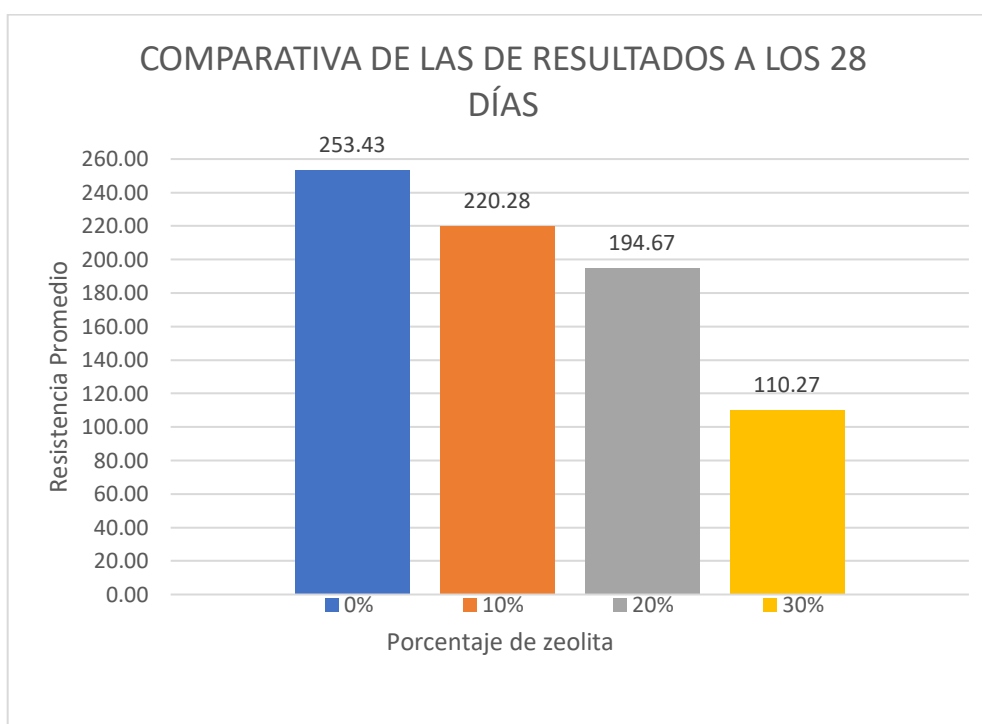
Podemos visualizar a los 28 días con un hormigón de 240 en la tabla 22 y en la ilustración 16.

Tabla 22 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 28 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 28 DÍAS	
f'c	240 kg/cm ²
99%f'c	237.6
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	253.43
10%	220.28
20%	194.67
30%	110.27

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 19 Cuadro comparativo a los 28 días f'c 240



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.12 Hormigón f'c 280 comparación a los 7 días de todas las dosificaciones

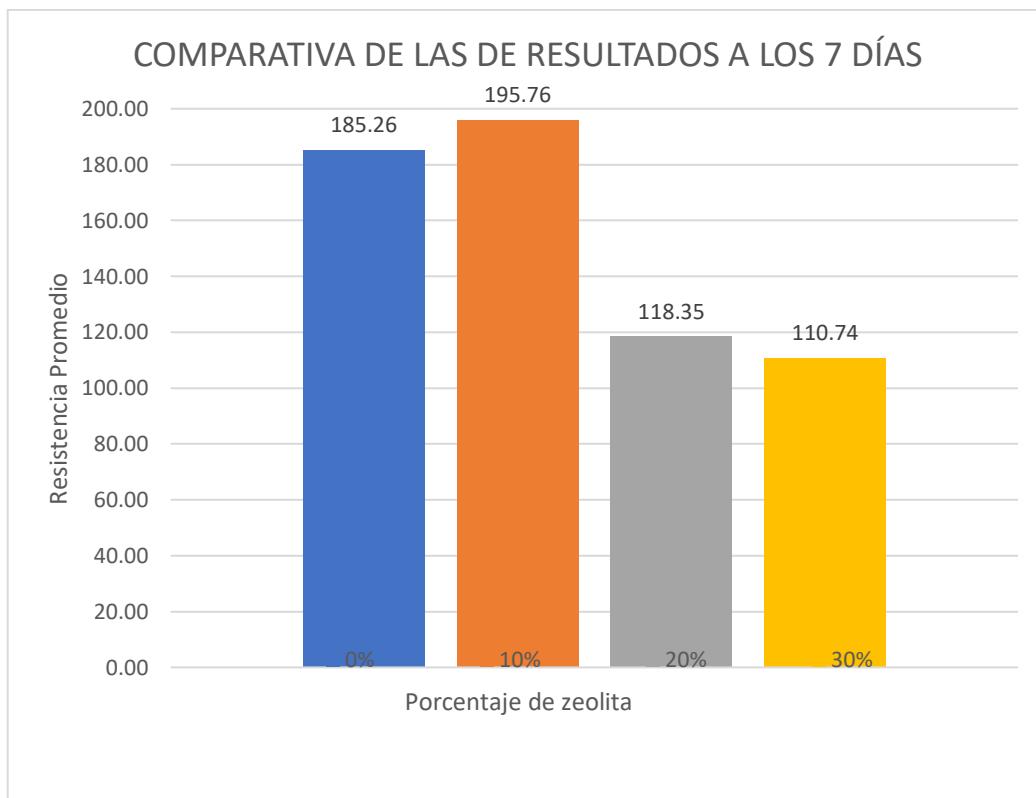
Al obtener todos los resultados de la resistencia a compresión de todos los cilindros se realizará cuadros comparativos donde podemos visualizar a los 7 días con un hormigón de 280 en la tabla 23 y en la ilustración 17.

Tabla 23 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 7 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 7 DÍAS	
f'c	280 kg/cm ²
65%f'c	182 kg/cm ²
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	185.26
10%	195.76
20%	118.35
30%	110.74

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 20 Cuadro comparativo a los 7 días f'c 280



Fuente: De la Cruz, Escobar.

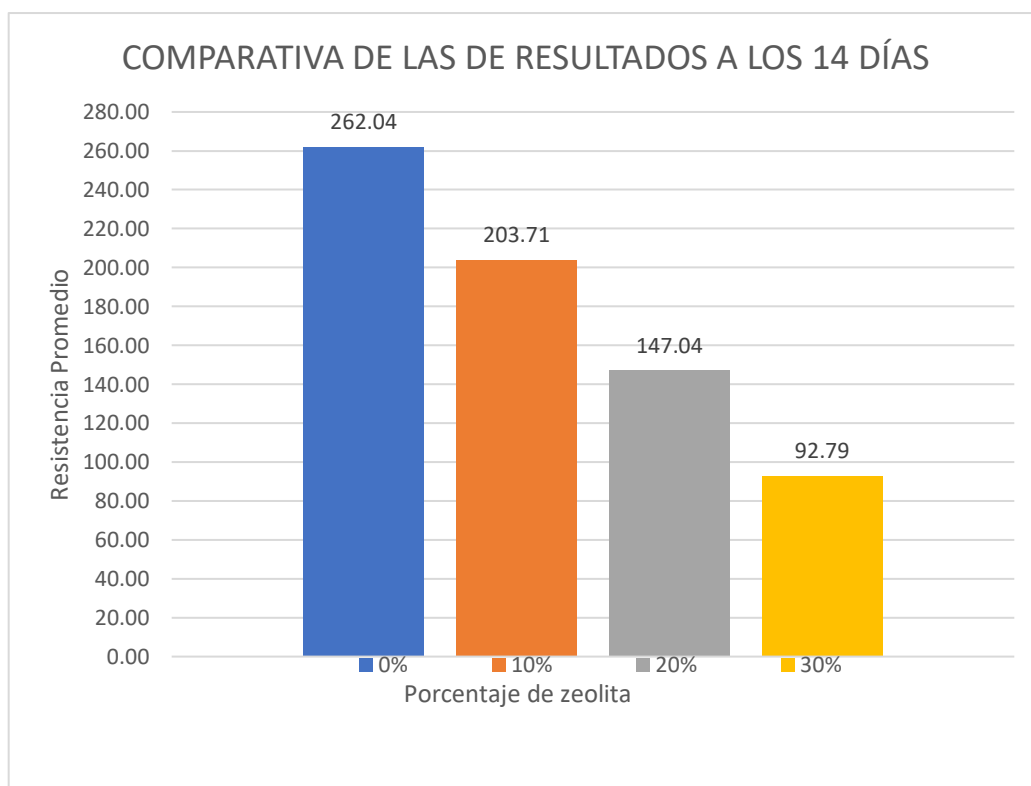
4.3.1.13 Hormigón f'c 280 comparación a los 14 días de todas las dosificaciones

Podemos visualizar a los 14 días con un hormigón de 240 en la tabla 24 y en la ilustración 18.

Tabla 24 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 14 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 14 DÍAS	
f'c	280 kg/cm ²
90%f'c	252 kg/cm ²
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	262.04
10%	203.71
20%	147.04
30%	92.79

Ilustración 21 Cuadro comparativo a los 14 días f'c 280



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.3.1.13 Hormigón f'c 280 comparación a los 28 días de todas las dosificaciones

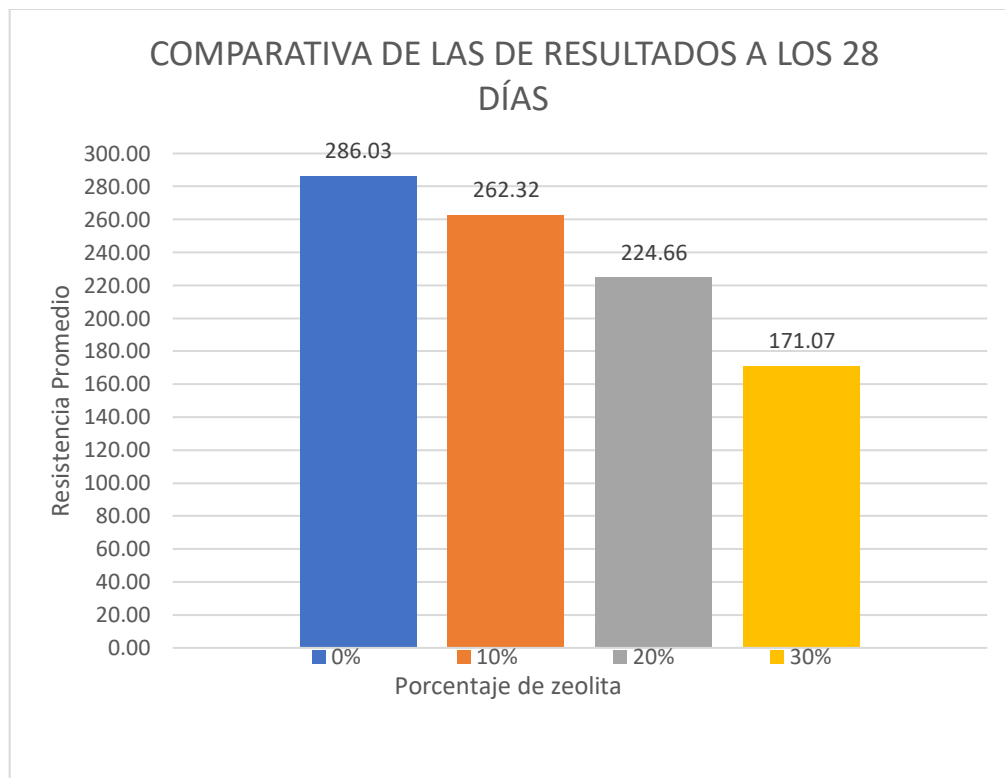
Podemos visualizar a los 28 días con un hormigón de 240 en la tabla 25 y en la ilustración 19.

Tabla 25 Cuadro comparativo de los resultados a compresión a los 28 días

COMPARATIVA DE LAS DE RESULTADOS A LOS 28 DÍAS	
f'c	280 kg/cm ²
99%f'c	277,2 kg/cm ²
Porcentaje de Zeolita	Resistencia Promedio
0%	286.03
10%	262.32
20%	224.66
30%	171.07

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 22 Cuadro comparativo a los 28 días f'c 280



Fuente: De la Cruz, Escobar.

4.1.2 ZEOLITA ´

Para este estudio se utilizó material de la mina de voluntad de Dios de la cual se encuentra ubicada en Guayaquil ver ilustración 19.

La zeolita utiliza en nuestro estudio tiene las siguientes características que podemos observar en la tabla 18.

Tabla 26 Datos de la zeolita utilizada

ZEOLITA NATURAL			
Mina	Provincia	Área (Ha)	Coordenadas
Voluntad de Dios	Guayaquil	3.6	2°07'52"S 80°00'11"W
Identificación de muestra:		CATFERTIL	
Descripción de la muestra:		Sólido homogéneo polvo habano	
Contenido declarado:		300 g	
Conservación de la muestra:		Ambiente	

Fuente: De la Cruz, Escobar.

Ilustración 23 Ubicación de Zeolita utilizada



Fuente: De la Cruz, Escobar.

En cuanto a la parte química podemos observar que se compone de los siguientes componentes ver en tabla 19.

Ilustración 24 Datos químicos de la Zeolita evaluada

RESULTADOS ANÁLITICOS				
Parámetros	Método	Unidades	Resultado	Límite máximo
Aluminio (Al ³⁺)*	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	% p/p	2.99	_____
Aluminio (Al ₂ O ₃)*	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	% p/p	5.66	_____
Hierro (Fe)*	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	% p/p	0.91	_____
Magnesio (MgO)	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	% p/p	0.52 ± 0.01	_____
Silicio (SiO ₂)	Gravimetría	% p/p	81.39	_____
*pH	AOAC 973.04	Unidades de pH	7.43 24.7°C	_____
Densidad	USP 41	g/ml	0.96 24.1°C	_____
*Conductividad Eléctrica	AOAC 973.40	S/m	1.20 25°C	_____
Poder relativo de neutralización	Interno Absorción Atómica / Gravimetría	% p/p	4.6	_____

Cadmio (Cd)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.02 LD	1.5
Cromo Hexavalente (CrVI)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.01 LD	2.5
Niquel (Ni)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.01 LD	50
Arsénico (As)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.02 LD	40
Plomo (Pb)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.05 LD	120
Cobalto (Co)	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	mg/kg	<0.03 LD	200
Mercurio (Hg)	EPA 3050-B	mg/kg	<0.005 LD	1
Cloruros (Cl ⁻)	AOAC 928.02	% p/p	0.1	_____
Sodio (Na ₂ O)	POE: 7.2.100 AOAC 965.09	% p/p	1.58 ± 0.09	_____

Fuente: (Centrocasal & Cabrera , 2020)

En la ilustración podemos observar una zeolita similar visualmente a la zeolita utilizada la cual se especificará sus características en la tabla 27.

Ilustración 25 Zeolita Clinoptilolita-Mordenita



(ZeoMaule, 2022)

Tabla 27 Identificación del producto

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
Nombre del Producto	Zeolita Natural
Marca Registrada	FERTOSA
Descripción del producto	Zeolita Natural Clinoptilolita-Mordenita granulada.
Nombre químico	Aluminosilicatos cálcico potásico magnésico hidratado

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS	
Componente zeolítico principal	Clinoptilolita-Mordenita.
Otros componentes	Plagioclasa, Esmectita y Cuarzo
Color	Marfil

(ZeoMaule, 2022)

La zeolita usada en nuestro estudio es una zeolita natural Clinoptilolita, este material es proveniente de la empresa de Zeonatec, la cual extrae zeolitas de tipo Clinoptilolita como podemos ver en la siguiente tabla 28.

Tabla 28 Información de minas y proveedoras.

Nombre/Mina	Contenido	Medida (mesh)	Aplicaciones	Exportación	Dirección	Teléfono /Correo/Pág. Web	Observaciones
<i>Zeonatec</i>	Clinoptilolita	40, 100, 200, 325	Acuícola camaroneiras , Agricultura, Gandería, Filtros, Salud y Construcción	4 Países de Exportación	Km 1.8 Via las Mercedes	042692752 ; 0960851639 www.zeonatec.com zeonatecventas@gmail.com zeonatec@gmail.com	Dispone de mina y procesadora Titular: Sr. Edison Arciniegas
<i>Fausto</i>	-	-	-	-	Coop. Renacer MZ. 142, Solar 24 (Guayaquil)	-	Titular: Ascencio Avellán Fausto Daniel
<i>Zeolita</i>	-	100	Acuícola camaroneiras	No exportan	Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	Sr. Wilson Villalta: 0994413356 Oficina: 042445585	Actualmente no estan explotando, trabajan en conseción solo proveen. El proceso de la zeolita es artesanal. Saco de 45 kg costo \$ 5,00. Dispuesto a colaborar y llevarnos a la mina proveer muestra en roca. Titular: Escalante Chalen Olga Gardenia
<i>Elena</i>	-	malla talco	No comercializa	No exportan	Coop. Luis Vargas Torres MZ A2 Solar 1	titular Rafael Chavez: 0999120873	Esta registrado en el catastro minero pero actualmente se encuentra paralizada ya que el gobierno paralizó las concesiones. Manifiesta que se realizaron estudios de CHINA Y ALEMANIA no calificó por la sobrecarga de 4 a 5 metros

(Salcedo Rivera, 2021)

En la siguiente ilustración 25 podemos ver la materia prima usada para nuestra tesis, esta materia prima paso por un proceso de producción para poder tener a nuestra disposición.

Ilustración 26 Zeolita estudiada en materia prima



(Zeonatec, 2020)

Comparación de la zeolita usada con otras zeolitas ya utilizadas en este estudio.

Tabla 29

Industrias		Rocacem		S. A.	
REPORTE		DE		ANALISIS	
MUESTRA		ZEOLITA		FECHA	11/03/03
P. Fuego	%	10,0			
SiO ₂	%	63,1			
Al ₂ O ₃	%	14,3			
Fe ₂ O ₃	%	5,70			
CaO	%	2,40			
MgO	%	1,77			
SO ₃	%	0,01			
K ₂ O	%	0,97			
Na ₂ O	%	1,31			
Total	%	99,4			
Res. Insoluble	%	52,0			

(Robalino Espinoza & Eguez Álava, 2009)

Tabla 30 Especificaciones de la norma de la ASTM C618-03

TABLE 1 Chemical Requirements			
	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminum oxide (Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO ₃), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

^AThe use of Class F pozzolan containing up to 12.0% loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.

(ASTM C618-03, 2022)

La norma de la ASTM C618-03 cubre las cenizas volantes de carbón y la puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto donde se desea una acción cementosa o puzolánica.

Tomando en cuenta las especificaciones de la norma de la ASTM C618-03 para el uso de puzolanas naturales como adición mineral como se indica en la tabla 30, se pudo comprobar mediante el análisis químico de la zeolita, que este mineral cumple con dicha norma. Esta norma especifica que el contenido mínimo de la suma de Oxido de Silicio (SiO₂), Oxido de Aluminio (Al₂O₃) y Oxido Férrico (Fe₂O₃) debe ser mínimo 70%, y nuestra zeolita utilizada en los ensayos obtuvo un 87.05%. Así también, indica que el contenido máximo de Trióxido de Azufre (SO₃) debe ser máx. 4%, y nuestra zeolita no contiene este elemento.

Al tener nuestra hipótesis negativa, se realiza los ensayos del cemento a la zeolita.

4.1.3. ENSAYOS DE LA ZEOLITA

4.1.3.1 Contenido de humedad

En promedio el contenido de humedad de la zeolita llega al 4.81% como se puede observar en la tabla 29 presentada a continuación.

Tabla 31. Contenido de Humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD		
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2
MASA INICIAL	188.39	140.3
MASA FINAL	179.4	133.5
% HUMEDAD	4.77	4.85

4.1.3.2 Gravedad específica del cemento

Se obtuvo una gravedad específica de la zeolita de 2.73 gr/cm³, cómo se puede observar en la tabla 30 presentada a continuación.

Tabla 32. Gravedad específica del cemento

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO		
FECHA DE ELABORACIÓN DEL ENSAYO:	12/20/2022	
TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C):	24	
LECTURA INICIAL:	0.50	ml
LECTURA FINAL:	23.50	ml
MASA DEL CEMENTO (64 gr):	64.10	gr
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO:	2.79	gr/cm ³

4.1.3.3 Consistencia

Se obtuvo una consistencia normal de la zeolita con una penetración de la aguja Vicat de 9 mm, cómo se puede observar en la tabla 31 e ilustración 27, presentadas a continuación.

Tabla 33. Consistencia normal

CONSISTENCIA NORMAL	
Fecha:	12/20/2022
Temperatura [°C]:	24
Humedad [%]:	57
CANTIDADES DE MATERIAL	
Cemento [gr]:	650
Agua [gr]:	220
% Agua [%]:	33.85
Penetración Aguja de Vicat (10mm - 30seg):	9.00

Ilustración 27. Penetración aguja vicat



Fuente: De la Cruz y Escobar

4.1.3.4 Tiempo de fraguado Gillmore

No se logró realizar este ensayo debido a que la zeolita no alcanzó el fraguado inicial como se puede observar en la tabla 32, presentadas a continuación.

Tabla 34. Tiempo de fraguado Gillmore

TIEMPO DE FRAGUADO GILLMORE		
Fecha:	12/23/2022	
Temperatura [°C]:	24	
Humedad [%]:	57	
Descripción	Hora	Minutos
Primer contacto agua - cemento:	6:30:00 AM	0
Tiempo inicial de fraguado:	-	-
Tiempo final de fraguado:	-	-
* EL TIEMPO INICIAL DE FRAGUADO DE LA ZEOLITA NO SE ALCANZO DESPUES DE 48H POR LO CUAL EL ENSAYO NO SE PUEDE REALIZAR EN DICHO MATERIAL.		

Fuente: De la Cruz y Escobar

Sin embargo, estos son los datos que se obtuvieron sin alcanzar el fraguado inicial, presentados en la tabla 33.

Tabla 35. Tiempo de fraguado Gillmore

TIEMPO DE FRAGUADO GILLMORE	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	ZEOLITA
Fecha:	12/29/2022
Temperatura [°C]:	24
Humedad [%]:	67
CANTIDADES DE MATERIAL	
Zeolita [gr]:	500
Arena [gr]:	1500
Agua [gr]:	310
Relación A/C:	0.62
LECTURAS DE FLUJO	
#1 [%]:	20
#2 [%]:	20
#3 [%]:	20
#4 [%]:	20
Total [%]:	80
$\text{Air content, volume \%} = 100[1 - (W_a/W_c)]$ $\text{Air content, volume \%} = 100 - W \frac{(182.7 + P)}{(2000 + 4P)}$	
Peso del recipiente [gr]:	596.60
Peso del recipiente más mortero [gr]:	1428.23
Peso del mortero [gr]:	831.63
Porcentaje de agua - cemento usado [%]:	62.00
Contenido de aire, volumen [%]:	9.48

Fuente: De la Cruz y Escobar

4.1.3.5 Expansión por autoclave

Las barras de pasta de zeolita se logro realizar sin embargo nunca fraguaron por lo cual no se pudo realizar el ensayo por autoclave, consecuentemente sería inviable realizar el ensayo de cubos de mortero.

4.1.3.6 Finura de Blaine

Tabla 36. Finura de Blaine

FINURA DE BLAINE																																											
Volumen bulk ocupado por la muestra																																											
Fecha:	12/28/2022																																										
WA _gramos de mercurio de la celda llena:	103.47																																										
WB_gramos de mercurio sin el volumen de cemento:	78.9																																										
Temperatura [°C]:	20																																										
Densidad del mercurio [mg/m ³ :gr/cm ³]:	13.55																																										
V_bulk [cm ³]:	1.81																																										
Densidad del cemento [gr/cm ³]:	2.79																																										
W_Gramos de muestra requeridos [gr]:	2.53																																										
<p>TABLE 1 Density of Mercury, Viscosity of Air (η), and $\sqrt{\eta}$ at Given Temperatures</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Room Temperature, °C</th> <th style="padding: 5px;">Density of Mercury, Mg/m³</th> <th style="padding: 5px;">Viscosity of Air, η μPa·s</th> <th style="padding: 5px;">$\sqrt{\eta}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 5px;">18</td><td style="padding: 5px;">13.55</td><td style="padding: 5px;">17.98</td><td style="padding: 5px;">4.24</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">20</td><td style="padding: 5px;">13.55</td><td style="padding: 5px;">18.08</td><td style="padding: 5px;">4.25</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">22</td><td style="padding: 5px;">13.54</td><td style="padding: 5px;">18.18</td><td style="padding: 5px;">4.26</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">24</td><td style="padding: 5px;">13.54</td><td style="padding: 5px;">18.28</td><td style="padding: 5px;">4.28</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">26</td><td style="padding: 5px;">13.53</td><td style="padding: 5px;">18.37</td><td style="padding: 5px;">4.29</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">28</td><td style="padding: 5px;">13.53</td><td style="padding: 5px;">18.47</td><td style="padding: 5px;">4.30</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">30</td><td style="padding: 5px;">13.52</td><td style="padding: 5px;">18.57</td><td style="padding: 5px;">4.31</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">32</td><td style="padding: 5px;">13.52</td><td style="padding: 5px;">18.67</td><td style="padding: 5px;">4.32</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">34</td><td style="padding: 5px;">13.51</td><td style="padding: 5px;">18.76</td><td style="padding: 5px;">4.33</td></tr> </tbody> </table>				Room Temperature, °C	Density of Mercury, Mg/m ³	Viscosity of Air, η μ Pa·s	$\sqrt{\eta}$	18	13.55	17.98	4.24	20	13.55	18.08	4.25	22	13.54	18.18	4.26	24	13.54	18.28	4.28	26	13.53	18.37	4.29	28	13.53	18.47	4.30	30	13.52	18.57	4.31	32	13.52	18.67	4.32	34	13.51	18.76	4.33
Room Temperature, °C	Density of Mercury, Mg/m ³	Viscosity of Air, η μ Pa·s	$\sqrt{\eta}$																																								
18	13.55	17.98	4.24																																								
20	13.55	18.08	4.25																																								
22	13.54	18.18	4.26																																								
24	13.54	18.28	4.28																																								
26	13.53	18.37	4.29																																								
28	13.53	18.47	4.30																																								
30	13.52	18.57	4.31																																								
32	13.52	18.67	4.32																																								
34	13.51	18.76	4.33																																								

SE USARÁ LA ECUACIÓN NUMERO 8 YA QUE AL SER UN MATERIAL DIFERENTE AL CEMENTO LA NORMA ESPECIFICA DICHA ECUACIÓN, ADEMÁS SE TRABAJA A LAS MISMAS TEMPERATURAS DEL CEMENTO ESTANDAR NORMALIZADO.

$$S = \frac{S_s \rho_s (b_s - \epsilon_s) \sqrt[3]{\epsilon_s} \sqrt{T}}{\rho (b - \epsilon) \sqrt[3]{\epsilon_s} \sqrt{T_s}} \quad (8)$$

DONDE:

Ss: superficie especifica de la muestra estándar [m2/kg]:

ps: densidad de la muestra estándar [3,15 gr/cm3]:

bs: 0,9 constante apropiada para la muestra estándar:

Es: porosidad de la muestra estándar:

E: porosidad de la muestra de prueba:

T: tiempo de caída de la muestra de prueba:

Ts: tiempo de caída de la muestra estándar:

b: constante especifica apropiada para una muestra de cemento [0,9]:

p: densidad de la muestra de prueba [gr/cm3]:

S: superficie específica de la muestra de ensayo [m2/kg]:

381.80
3.15
0.90
0.50
0.50
148.67
71.00
1.00
2.79
499.01

	Muestra de prueba	Muestra Estándar
T1:	150.00	T1: 71
T2:	148.00	T2: 71
T3:	148.00	T3: 71

Fuente: De la Cruz y Escobar

10. CAPÍTULO V

10.1 CONCLUSIONES

- Al emplear zeolita como sustitución del cemento podemos evidenciar que el asentamiento disminuye teniendo que nuestro asentamiento de la mezcla de hormigón tradicional fue de 7 cm en comparación a la del hormigón con el porcentaje de zeolita disminuye a un 7.1% de su asentamiento.
- Al reemplazar un 10 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 240 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue 13.08% menos.
- Al reemplazar un 20 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 240 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue de 23.19% menos.
- Al reemplazar un 30 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 240 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue muy baja con un 28.13%.
- Al reemplazar un 10 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 280 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue 8.29% menos.
- Al reemplazar un 20 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 280 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue de 21.45% menos.
- Al reemplazar un 30 % de zeolita por el cemento en hormigones de $f'c$ 280 se pudo observar que su resistencia en comparación al hormigón tradicional con los agregados usados fue muy baja con un 40.19%.
- Se pudo observar que la resistencia del hormigón a los 7 días con zeolita del 10% en reemplazo del cemento tuvo una mayor resistencia en comparación a un hormigón sin zeolita.
- Se pudo analizar que al aumentar el porcentaje de zeolita como el reemplazo del cemento la resistencia disminuye cáusticamente.

- Al tener materiales con un desgaste a la abrasión del 60% se puede evidenciar que no es factible el reemplazo de zeolita por el cemento con los materiales usados para la siguiente disertación.
- Se realiza los ensayos de un cemento a la zeolita donde se pudo observar que existen ensayos que no se lograron realizar ya que la zeolita no fue apta para estos ensayos.
- El ensayo de expansión por autoclave las barras de pasta de zeolita se lograron realizar sin embargo nunca fraguaron por lo cual no se pudo realizar el ensayo por autoclave, consecuentemente sería inviable realizar el ensayo de cubos de mortero.
- El ensayo el tiempo de fraguado Gillmore no se logró realizar este ensayo debido a que la zeolita no alcanzó el fraguado inicial .

10.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al tener material de almacenamiento tanto del agregado fino como el grueso se debe mantener en un lugar fresco para evitar que las humedades cambien y que la dosificación realizada con esas humedades se pueda utilizar sin problema.
- Se debe realizar los ensayos e investigaciones pertinentes a los agregados, cemento y zeolita, ya que de estos resultados depende si se puede sustituir la cantidad de cemento por zeolita.
- Recomendamos realizar un nuevo estudio con los mismos porcentajes de zeolita, pero con otros agregados con mejores características.
- Se debería realizar el análisis con otra zeolita con diferentes componentes a la nuestra.
- Se recomienda realizar un nuevo estudio con menores porcentajes de reemplazo de zeolita.
- Se recomienda realizar ensayos previos a la zeolita como un cemento antes de utilizarla en este tipo de estudios.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Adilson Curi, W., Hernani M, L., & Sousa, W. (2006). *Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000600017#:~:text=Las%20propiedades%20m%C3%A1s%20relevantes%20de%20las%20zeolitas%20naturaclinoptilolitaes,porosidad%2C%20adsorci%C3%B3n%20e%20intercambio%20i%C3%B3nico.&text=Las%20zeol
- Andrade Sanchez, K. E., & Flores Revilla, K. D. (25 de mayo de 2016). *PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL HORMIGÓN*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6351/1/T-UCE-0011-207.pdf>
- ASTM C 131 - 01. (s.f.). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles*. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/dibujo-arquitectonico/astm-c-131-01-abrasion-los-angeles/10746502>
- Becosan. (10 de JUNIO de 2020). *Hormigón armado*. Obtenido de <https://www.becosan.com/es/hormigon-armado/>
- Becosan. (21 de ABRIL de 2021). *Cemento Portland*. Obtenido de <https://www.becosan.com/es/cemento-portland/>
- Centrocetal, C. d., & Cabrera, E. (2020). *Informe de ensayo análisis zeolita*. Quito.
- Chryso. (28 de SEPTIEMBRE de 2021). *Agregados en el Hormigón Chryso Aditivos*. Obtenido de <https://www.chryso.es/news/879/nuevos->
- CivilGeek. (21 de marzo de 2021). Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/03/21/preparacion-de-cilindros-de-concreto-en-obra/>
- Costafreda Mustelier, J. L. (2014). *TECTOSILICATOS CON CARACTERÍSTICAS*. Obtenido de https://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf
- Curi, A., & Granda, W. (s.f.). Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000600017
- Del Cid Perez, A., Méndez, R., & Sandoval Recinos, F. (2007). *Investigación Fundamentos y metodología*. Obtenido de <https://mitrabajodegrado.files.wordpress.com/2014/11/cid-investigacion-fundamentos-y-metodologia.pdf>
- Esparza Villalba, C. A. (04 de junio de 2009). *GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/gravedad-especifica-y-absorcin-de-agregado-grueso>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Jarre Castro, C. M., Howland Albear2, J. J., & Guerrero Alcivar1, M. S. (JUNIO de 2017). *Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas*. Obtenido de [file:///C:/Users/Jhon/Downloads/931-Art%C3%ADculo-1887-1-10-20170921%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jhon/Downloads/931-Art%C3%ADculo-1887-1-10-20170921%20(1).pdf)

- Laboratorio de Ensayos de Materiales. (2014). *DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES*. Obtenido de http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1385/Dosificaci%C3%B3n_de_hormigones_-_M%C3%A9todo_del_Nisnovich.pdf
- Mandrake. (abril de 2022). *IDOC PUB*. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/agua-de-amasado-gen5mjey714o>
- Mata, F., & Mata Cabrera, F. (2010). *La selección sostenible de los materiales de construcción. Tecnología y desarrollo*.
- Medina Robalino, W. S., Ureña Aguirre, M., Medina Robalino, C. D., & Coello Fiallos, D. (Julio de 2022). *Georreferenciación de zeolitas naturales en la Cordillera Chongón-Colonche del Ecuador*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551309>
- Morante Carballo, F. E. (2004). *LAS ZEOLITAS DE LA COSTA DE ECUADOR*. Obtenido de <https://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf>
- NTE INEN 857. (SEPTIEMBRE de 2010). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD*. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_857.pdf
- Nullis, C. (20 de noviembre de 2022). *Organización Meteorológica Mundial (OMM)*. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/los-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanzan-un>
- Robalino Espinoza, P., & Eguez Álava, H. (16 de febrero de 2009). *EL USO DE LA ZEOLITA COMO UNA ADICIÓN MINERAL PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/114/1/116.pdf>
- Rosell Lam, M. B., Costafreda Mustelier, J. L., Parra y Alfaro, J., & Calvo Pérez, B. (s.f.). *INFLUENCIA DE LA ADICION DE ZEOLITA EN LAS PROPIEDADES MICRO*. Obtenido de https://oa.upm.es/6912/1/Jorge_Costafreda_Mustelier_Trabajo_ampliado_1.pdf
- Salazar J, A. (DICIEMBRE de 2010). *Puzolonas*. Obtenido de <https://www.academia.edu/24569108/Puzolonas>
- Salcedo Rivera, V. E. (Enero de 2021). *“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ZEOLITA NATURAL*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32000/1/Tesis%20I.%20C.%201423%20-%20Salcedo%20Rivera%20Ver%C3%B3nica%20Elizabeth.pdf>
- Simeon Cañas, J. (s.f.). *ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO*. Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- Vintimilla Proaño, J. F., & Cantos Alcívar, R. C. (septiembre de 2018). *USO DE LAS ZEOLITAS EN LAS CONTRUCCIONES CIVILES*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328913758_USO_DE_LAS_ZEOLITAS_EN_LAS_CONTRUCCIONES_CIVILES
- Zeomaule. (2022). *Ficha Técnica Zeolita*. Obtenido de <https://zeomaule.cl/que-es-la-zeolita/>

Zeonatec. (septiembre de 2020). *Ficha Técnica*. Obtenido de https://www.zeonatec.com/_files/ugd/cdac13_b5fb5895c538489ebdaaebc566867e8b.pdf

12. ANEXOS





ENSAYO DE AGREGADOS



ENSAYO DE AGREGADOS



ENSAYO DE AGREGADOS



ENSAYO DE AGREGADOS



ENSAYO DE AGREGADOS



ENSAYO DE AGREGADOS



FUNDICIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



ASENTAMIENTO



FUNDICIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FUNDICIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FUNDICIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FUNDICIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



RELLENADO DE CILINDROS DE HORMIGÓN



CURADO EN CÁMARA DE HUMEDAD



ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

RETIRO DE LA CÁMARA DE HUMEDAD



ENSAYO A COMPRESIÓN



ENSAYO A COMPRESIÓN



ENSAYO A COMPRESIÓN



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA



ENSAYOS DE ZEOLITA