

**ANÁLISIS DE UNAMUESTRA DE CONCRETO DE 4000 PSI SINTETIZADA A
PARTIR DE SUELO DIATOMÁCEO CON ACTIVACIÓN ALCALINA**

**GINNA MARCELA TORRES RODRÍGUEZ
JESSICA DANIELA BARRETO TORRES**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
BOGOTÁ
2018**

**ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE CONCRETO DE 4000 PSI SINTETIZADA A
PARTIR DE SUELO DIATOMÁCEO CON ACTIVACIÓN ALCALINA**

**GINNA MARCELA TORRES RODRÍGUEZ
JESSICA DANIELA BARRETO TORRES**

**Trabajo De Grado Para Optar Al Título De
Ingenieras Civiles**

**Director
GERARDO AREVALO
Ingeniero Civil**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
BOGOTÁ
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. GERARDO AREVALO
Director de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Fecha: 20 DE NOVIEMBRE DE 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por habernos guiado en este camino largo y difícil pero a la vez satisfactorio que fue nuestra carrera profesional y a nuestras familias quienes estuvieron presentes en el proceso de cumplir esta meta, al grupo de docentes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia quienes nos brindaron su apoyo académico durante todo el proceso y a todas sus contribuciones que hoy por hoy nos tienen en los últimos pasos de nuestra carrera profesional. Por último, a nuestros compañeros quienes nos brindaron su apoyo moral y una compañía excelente, fue una experiencia maravillosa y sin ninguno de ellos esto no sería posible.

TABLA DE CONTENIDO

Lista de anexos	13
RESUMEN	14
GLOSARIO	18
1. INTRODUCCIÓN	21
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	22
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
3.1. Descripción del problema	24
3.2. Formulación del problema.	24
4. OBJETIVOS	25
4.1. Objetivo General	25
4.2. Objetivos Específicos	25
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	26
5.1 Alcances	26
5.2 Limitaciones	26
6. ESTADO DEL ARTE.	28
7. MARCO TEÓRICO	33
7.1. CEMENTO PORTLAND	33
7.1.1. ¿Cómo se produce?	33
7.1.2. Cualidades del Cemento Portland:	34
7.1.3. Ensayos del Cemento	35
7.1.4. Usos para mezclas de concreto	36
7.2. SUELOS CEMENTANTES	37
7.2.1. ¿Qué son los suelos cementantes?	37
7.2.2. ¿Cómo se producen?	37
7.2.3. Propiedades de los Suelos Cementantes	39
7.3. SUELO DIATOMÁCEO	40
7.3.1. Estructura de las diatomeas	40

7.3.2. Usos de las diatomeas _____	40
8. MARCO LEGAL _____	41
9. METODOLOGÍA _____	44
10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN _____	46
10.1. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN. _____	46
10.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA MEZCLA	46
10.3. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA _____	58
10.3.1. DISEÑO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL CEMENTANTE _____	59
10.3.2. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS _____	61
10.3.3. DISEÑO DE MEZCLA PARA MORTEROS _____	63
10.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS ENSAYOS PREVIOS: CILINDROS H:10CM D:5CM _____	64
10.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS ENSAYOS FINAL _____	68
10.5.1. CILINDROS H:20CM D:10CM _____	69
10.5.2. VIGAS H:15CM L:52CM _____	70
10.5.3. CUBOS DE MORTEROS:50mm X 50mm _____	71
11. RESULTADOS Y ANÁLISIS _____	73
11.1. ENSAYOS PREVIOS: _____	73
11.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS ESPECIMENES FINALES: _____	75
11.3. RESISTENCIA A FLEXIÓN DE ESPECIMENES FINALES: _____	84
11.4. RESISTENCIA DE MORTEROS ESPECIMENES FINALES: _____	89
12. CONCLUSIONES _____	95
13. RECOMENDACIONES _____	97
BIBLIOGRAFÍA _____	98

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Diatomita (Diatomita, que es y cuales son sus principales usos, 2010)	18
Figura 2 Diatomea (Diatomea, 2013)	20
Figura 3 Como se produce un material cementante (Álvarez, 2017)	39
Figura 4 Diagrama explicación de metodología	45
Figura 5 Difracción de rayos x	46
Figura 6 DRX Diatomea en estado natural	47
Figura 7 Difractograma de tierra de Diatomeas tipo 1	48
Figura 8 Difractograma de diatomea tipo 2.	49
Figura 9 Difractograma de diatomea tipo 3.	49
Figura 10 DRX Diatomea con óxidos calcinada	50
Figura 11 DRX Diatomea calcinada con óxidos	51
Figura 12 Diatomea con óxidos sin calcinar	52
Figura 13 DRX de muestras de Diatomea Calcinada con Óxidos VS Diatomea Pura	53
Figura 14 DRX de muestras de Diatomea Calcinada con Óxidos VS Diatomea mezcla con óxidos sin calcinar.	54
Figura 15 DRX de Diatomea calcinada seguida de una mezcla con Óxidos y Diatomea seguida de una mezcla de óxidos y luego calcinada.	54
Figura 16 Difractogramas de cementos normales, picos característicos. (L.R. Santillán, 2016)	55
Figura 17 Difractograma de Diatomea con Óxidos Calcinada ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 18 Resultados de granulometría	57
Figura 19 Relación agua cemento relacionada con la Resistencia del concreto a compresión a 28 días en MPa	62
Figura 20 Porcentajes de diseño de mezcla para 1 m ³ de Concreto generado a partir de CP.	63
Figura 21 Porcentaje de diseño de mezcla para 1 m ³ de Mortero generado a partir de CP.	64
Figura 22 Tamizado final de granulometría	65
Figura 23 Procedimiento para realizar Cilindros de H 10cm y D 5cm	66
Figura 24 Cilindros con respectivas muestras	67
Figura 25 Cilindros fallados a compresión	68
Figura 26 Procedimiento para realizar las probetas de ensayo. Cilindros H 20cm y D 10cm	70
Figura 27 Procedimiento para realizar vigas.	71

<i>Figura 28 Procedimiento para realizar cubos de mortero 50mmx 50mm</i>	72
<i>Figura 29 Ensayo de Compresión de Cilindros Ensayos Previos</i>	73
<i>Figura 30 Variación de Resistencia según mezcla realizada</i>	74
<i>Figura 31 Muestra de Concreto generado a partir de suelo diatomáceo para 7 días</i>	75
<i>Figura 32 Toma de medidas cómo el largo, diámetro y peso del espécimen</i>	76
<i>Figura 33 Ensayo a compresión del cilindro de concreto generado a partir de suelo diatomáceo para los 7 días de Fraguado con relación a/c 0.5 (Lado izquierdo), Ensayo a compresión del cilindro de concreto generado a partir de CP para los 7 días de Fraguado con relación a/c 0.5 (Lado derecho)</i>	76
<i>Figura 34 Resultados de ensayo a compresión de cilindros de concreto generados a partir de Suelo diatomáceo comparados con el convencional generado a partir de CP</i>	77
<i>Figura 35 Especímenes de concreto generados a partir de suelo diatomáceo variando la cantidad de agua incorporada en la mezcla.</i>	78
<i>Figura 36 Falla de ensayo a compresión de Cilindros de concreto generado a partir de suelo diatomáceo (Lado Izquierdo) Falla de ensayo a compresión de Cilindros de concreto generado a partir de CP (Lado derecho)</i>	79
<i>Figura 37 Tendencia de crecimiento del Cemento Convencional y la Diatomea para Cilindros</i>	81
<i>Figura38 Schematic illustration of the pores in calcium silicate through different stages of hydration. (Edu, 2016)</i>	82
<i>Figura39 Schematic drawings to demonstrate the relationship between the water/cement ratio and porosity. (Edu, 2016)</i>	83
<i>Figura 40 Viga de concreto generada a partir de suelo diatomáceo.</i>	84
<i>Figura 41 Viga de concreto generada a partir de CP</i>	84
<i>Figura 42 Ensayo de resistencia la Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de suelo diatomáceo</i>	84
<i>Figura 43 Ensayo de resistencia la Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de CP</i>	85
<i>Figura 44 Resultados de ensayo de Flexión de vigas en concreto generadas a partir de suelo diatomáceo.</i>	87
<i>Figura 45 Tendencia de crecimiento del Cemento Convencional y la Diatomea</i>	88
<i>Figura46 The Microstructure of Portland Cement Paste (Nemati, 2015)</i>	89
<i>Figura 47 Mortero generado a partir de suelo diatomáceo y mortero de CP</i>	90
<i>Figura 48 Ensayo de resistencia de morteros generados a partir de suelo diatomáceo (Lado izquierdo) y Ensayo de resistencia de morteros generados a partir de CP (Lado Derecho)</i>	90

<i>Figura 49 Resultados de ensayo de resistencia de morteros generadas a partir de suelo diatomáceo.</i>	91
<i>Figura 50 Tendencia de Crecimiento para cemento y Diatomea para el caso de Morteros</i>	93
<i>Figura51 Heat of hydration versus time: mortar prepared with different additions (Aïtcin, 2016)</i>	94

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Resultados de Ensayo de Granulometría</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2 Composición Química del Cemento (Ceccato, Masuero, Moraes, & Vilela, 2009) y Composición Química de la Diatomea (Eco y Ambiente, 2015).....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3 Diferencia de composición Química de la Diatomea respecto al CP</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4 Diatomea + Oxido</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 5 Diseño de mezcla en Kg para 1 m³ de Concreto.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6 Diseño de Mezcla para 1 m³ de Mortero</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7 Diseño de Mezcla para Cilindros H 10cm y D 5cm con relación A/C 0.5..</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 8 Cantidades utilizadas para Ensayos Para Cilindros.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 9 Cantidades de Óxidos utilizados para Cilindros de H 10cm y D 5cm para 91.66gr de Diatomea</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 10 Resistencia de Cilindros dependiendo de la Mezcla utilizada entre Diatomea y Óxidos.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 11 Cantidades utilizadas para cilindros con relación a/c 0.5.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 12 Cantidades de material para Cilindros con relación a/c 0,75.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 13 Cantidades para Vigas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 14 Cantidades para Cubos de Mortero</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 15 Resultados de ensayo de Resistencia a la Compresión Ensayos Previos Según el tipo de Mezcla.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 16 Resultados de ensayo de Compresión de Cilindros Especímenes Finales</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 17 Resistencia del Concreto a compresión según su edad. (Valcuende Payá, y otros, 2007).....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 18 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Compresión.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 19 Resultados de ensayo a Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de suelo diatomáceo.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 20 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Flexión</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 21 Resultados de ensayo resistencia de morteros especímenes finales.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 22 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Compresión de Morteros</i>	<i>92</i>

LISTADO DE ACRÓNIMOS

- ✓ CP: Cemento Portland
- ✓ CaO: Óxido de Calcio
- ✓ SiO₂: Óxido de Silicio
- ✓ Al₂O₃: Óxido de Aluminio
- ✓ Fe₂O₃: Óxido Férrico
- ✓ Na₂O: Óxido de Sodio
- ✓ TiO₂: Óxido de Titanio
- ✓ P₂O₅: Óxido de Fósforo
- ✓ K₂O: Óxido de Potasio
- ✓ MgO: Óxido de Magnesio
- ✓ L.O.I: Otros Óxidos
- ✓ INV: Invías

Lista de anexos

Anexo 1. Formatos de resultados de laboratorio evaluación de resistencia a compresión de muestras de Cilindros.

Anexo 2. Formatos de resultados de laboratorio evaluación de resistencia a flexión de muestras de vigas.

Anexo 3. Formatos de resultados de laboratorio evaluación de resistencia a compresión de muestras de Morteros.

Anexo 4. Resultados de DRX.

RESUMEN

El Cemento Portland (CP) es un conglomerante que en reacción con el agua es capaz de generar una masa consistente utilizada en su mayoría en obras civiles. Al realizar esta mezcla, el cemento forma un material plastificante que endurece a las horas y con el pasar de las semanas va ganando resistencia. Este material es el más usado en la construcción por sus propiedades físicas y químicas. Químicamente está formado por una variedad de Óxidos los cuales son las materias primas (en su mayoría podemos encontrar Oxido de Calcio). Los óxidos que hacen parte de la composición del cemento brindan a los materiales características relevantes; por ejemplo, el óxido de calcio al reaccionar con el agua genera Cal Apagada que genera endurecimiento en el material.

Dado que el cemento tiene gran importancia en el campo constructivo se ha desarrollado la siguiente investigación donde son presentados los resultados de la generación de un nuevo material cementante a partir de suelo Diatomáceo. Dentro de la investigación preliminar que se realizó al tema, se encontraron investigaciones del cemento con adiciones en porcentajes en el Cemento Portland, desde un 10% a un 15% para generar mayores propiedades en el Cemento, cómo el aumento de su resistencia.

La norma ASTM C618 especifica los parámetros que debe tener un material para ser usado cómo hormigón. En la norma está contemplado que la sumatoria de los óxidos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ debe ser igual o superior al 70%. Por esta razón se ha querido investigar a partir de la composición química de la Diatomea, el reemplazo en un 100% del CP evaluando sus propiedades mecánicas.

Como se expresó en el párrafo anterior, inicialmente se investigó acerca de los materiales químicamente. Se analizó la composición química tanto del CP como el de la Diatomea, verificando cuales son los elementos que hacen falta para que el material precursor este compuesta por la misma cantidad de elementos que el CP. A partir de esto se realizó un diseño de la composición química de la diatomea similar a la del CP.

Al tener la composición química que debería tener la diatomea, se realizaron 3 tipos de mezclas del material con los elementos faltantes; mezclas mecánicas, mezclas con mortero y mezclas de tipo calcinación. Seguido a esto realizamos un ensayo mecánico de Compresión de Cilindros con el fin de demostrar de qué manera el tipo de mezcla puede influir en los valores de resistencia y así mismo poder elegir el mejor tipo de está.

Con el tipo de mezcla elegido se realizaron en total 15 muestras para ser ensayadas en el laboratorio donde se realizaron los ensayos de flexión y compresión de muestras de Concreto según normatividad INV 410-13 y 415-13 y así mismo para mortero se realizaron ensayos de Compresión según normatividad NTC 220.

Los resultados obtenidos son presentados en el Capítulo 11 los cuales fueron comparados con los resultados de ensayos que se hicieron a un sistema convencional generado a partir de Cemento Portland y a partir de estos se puede concluir, que las resistencias oscilan entre el 27% y 32% de la resistencia que tiene un concreto o un mortero generado por Cemento Portland. En la investigación son analizados estos resultados y de esta manera poder concluir y generar recomendaciones a partir de la problemática propuesta.

ABSTRACT

Portland Cement (CP) is a binder that has a reaction with water, is capable of generating a mass consisting mostly of civil works. When making this mixture, the cement forms a plasticizing material that hardens at the hour and with the passing of the weeks is gaining resistance. This material is the most used in construction due to its physical and chemical properties. Chemically it is formed by a variety of oxides of which are the raw materials (mostly we can find calcium oxide). The oxides that are part of the cement composition provide the materials with relevant characteristics; For example, the calcium oxide reacts with the water genera Cal Quite that generates hardening in the material.

Given that cement is of great importance in the construction field, the following research has been developed where the results of the generation of a new cementitious material from Diatomaceous soil are presented. Within the preliminary investigation that was carried out on the subject, cement investigations were found with additions in percentages in the Portland Cement, from 10% to 15% to generate greater properties in the Cement, as the increase of its resistance.

The ASTM C618 standard specifies the parameters that a material must have to be used as concrete. In the norm it is contemplated that the sum of the $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oxides must be equal to or greater than 70%. For this reason it has been wanted to investigate from the chemical composition of the Diatomea, the replacement in a 100% of the CP evaluating its mechanical properties.

As stated in the previous paragraph, the materials were initially investigated chemically. The chemical composition of both the CP and the Diatom was analyzed, verifying which elements are missing so that the precursor material is composed of the same number of elements as the CP. From this a design of the chemical composition of the diatom was made similar to that of the CP.

When having the chemical composition that the diatom should have, 3 types of mixtures of the material with the missing elements were made; mechanical mixtures, mixtures with mortar and mixtures of calcination type. Following this, we carried out a mechanical Cylinder Compression test in order to demonstrate how the type of mixture can influence the resistance values and also to choose the best type of is.

With the type of mixture chosen, a total of 15 samples were made to be tested in the laboratory where the tests of bending and compression of concrete samples were carried out according to standards INV 410-13 and 415-13 and also for mortar tests were carried out. Compression according to NTC 220 regulations

The results obtained are presented in Chapter 11 which were compared with the results of tests that were made to a conventional system generated from Portland Cement and from these it can be concluded, that the resistance oscillates between 27% and 32% of the resistance that a concrete or a mortar generated by Portland Cement has. In the research these results are analyzed and in this way we can conclude and generate recommendations based on the proposed problem.

GLOSARIO

Para el desarrollo del proyecto se presentarán aquellos términos fundamentales para el entendimiento de la investigación.

- **CEMENTO PORTLAND.**

El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como conglomerante para la preparación del hormigón (llamado concreto en varias partes de Hispanoamérica). Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes. (Goma, 1979)

- **DIATOMITA.**

Es una roca sedimentaria silíceo formada por micro-fósiles de diatomeas, que son algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.

Dado que la diatomita se forma de los restos flotantes de las diatomeas, se encuentra cerca de las aguas superficiales actuales o anteriores. Pueden ser de agua salada o de agua dulce.

La tierra de diatomeas del agua salada contiene un alto contenido de la sílice cristalina, haciéndole un material útil para los filtros, debido a las características tamizantes de los cristales. (Goren R, 2002)

Figura 1 Diatomita



Fuente: (Diatomita, que es y cuales son sus principales usos, 2010)

- **POLÍMERO.**

Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros. Estos forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas. Los polímeros tienen elevadas masas moleculares, que pueden alcanzar incluso millones de UMAs. (Katime, 1994)

- **GEOPOLÍMERO.**

Los geopolímeros son un grupo de materiales cementantes que se crean a partir de polvos ricos en aluminosilicatos como es el caso de algunos desechos industriales. Las propiedades que desarrollan generalmente son superiores a los del cemento portland ordinario, haciendo de ellos un material atractivo por la industria de la construcción. (Acuña, 2002)

- **ALUMINOSILICATOS.**

Es un mineral de origen natural o sintético cuya composición química fundamental es a base de Aluminio y Silicio. Estos dos elementos son los que le imparten las características principales a los aluminosilicatos. (Lara, 1998)

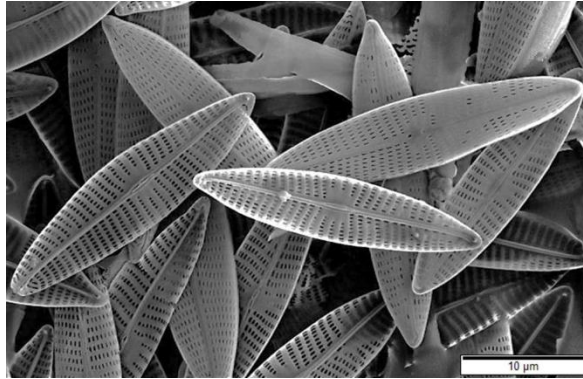
- **ALCALINO.**

Alcalino se emplea para calificar a aquello que dispone de álcali. Un álcali, por otra parte, es un hidróxido de tipo metálico que actúa como base fuerte y que presenta una gran solubilidad al estar en el agua. Avanzando un poco más con la definición, debemos tener en cuenta que un hidróxido es un compuesto que se constituye por la unión del anión OH⁻ con un radical o un elemento químico. (Julian perez, 2005)

- **DIATOMEAS.**

Las diatomeas son algas unicelulares; constituyen el fitoplancton, importante en la alimentación de diversos organismos. Algunas de ellas pueden vivir en colonias formando filamentos o cintas, se hallan rodeadas por una pared celular hecha de sílice llamada frústula. (Editorial, 2008)

Figura 2 Diatomea



Fuente: (Diatomea, 2013)

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo la humanidad ha investigado y evolucionado en la producción de materiales cementantes que generaran una resistencia con la que fuera posible realizar los procesos de construcción.

Por años se han realizado investigaciones de materiales cementantes similares al concreto que han representado el medio de unión y estabilidad para que las civilizaciones trascendieran por medio del elemento principal en medio del desarrollo de la sociedad: la infraestructura.

Actualmente la producción mundial de cemento Portland contribuye al menos al 5 - 7% de las emisiones antropogénicas globales de CO₂ (Huntzinger, 2009), el cual es un tema importante para nuestro planeta ya que causa un impacto ambiental significativo. Las Emisiones Antropogénicas son los principales gases de efecto invernadero que consiste en el aumento de la temperatura de la atmósfera lo cual genera una capa de gases, con la función principal de retener la radiación y así mantener las temperaturas del planeta (Meteorología, 2009).

Debido a esto, se ve la necesidad de impulsar alternativas que logren disminuir la contaminación causada por dichos gases, logrando obtener así materiales con un elevado rendimiento, bajos costos y un menor impacto ambiental.

Este documento contiene un trabajo de investigación, donde se presenta el desarrollo de un material cementante con las características físicas y químicas del cemento portland, que pretende generar una innovación de uso en el campo de materiales con el uso de la diatomea como precursor principal reemplazando al cemento en un 100% y así evaluar parámetros mecánicos como los ensayos a compresión y a flexión en el material propuesto.

En los siguientes capítulos se puede encontrar detalladamente la relación entre el cemento portland y el material cementante propuesto, el cual se evaluará mecánicamente a flexión de vigas y a compresión de Cilindros según normas INV-13, desarrollando así un material más amigable con el medio ambiente y lo más importante cumpliendo las propiedades mecánicas y químicas.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Desde el año 6000 a.C. la mezcla de cemento con agua, arena y la explotación de una piedra volcánica dio como resultado un nuevo material que cuando endurecía tenía grandes resistencias. Los Romanos y griegos descubrieron que ciertos materiales procedentes de depósitos volcánicos, mezclados con caliza, arena y agua producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir diferentes acciones del ambiente. El hormigón es uno de los más utilizados para la construcción desde hace años y han ido evolucionando a partir de las investigaciones que se han realizado con diferentes mezclas. **(Aplicaciones., 2015)**

Durante la década de 1950 apareció por primera vez la idea de desarrollar sistemas álcali- activados que contenían silicato de calcio hidratado y fases de aluminosilicatos, los cuales fueron implementados en algunas construcciones en Rusia. Este primer avance fue logrado por Victor Glukhovsky y Pavel Krivenko en Ucrania, donde inicialmente recibieron el nombre de “silicatos del suelo” (Komnitsas y Zaharaki, 2007).

Hoy en día los hormigones fabricados con CP ofrecen a la sociedad alcances diferentes ya que se tienen una variedad de modalidades para su uso dependiendo del tipo de cemento que se utilice para la fabricación del hormigón, **(Construcción, 2015)**

Pero el mercado de construcción en Colombia ha intensificado la búsqueda de materiales amigables con el medio ambiente los cuales se han vuelto temas cada vez más relevantes. El cemento portland ha incrementado su importancia mundialmente y es uno de los materiales más usados en la industria de la construcción. Actualmente se han impulsado alternativas que logren disminuir la contaminación causada, logrando obtener así materiales con un elevado rendimiento, bajos costos y un menor impacto ambiental.

Por lo anterior, se ha decidido estudiar el comportamiento de los suelos diatomáceos con el fin de generar suelos cementantes a partir de una composición semejante a la del CP.

Debido a las importantes propiedades de los suelos cementantes como, por ejemplo; fácil manipulación, mayor resistencia a los ácidos cloruros y sulfatos, mayor durabilidad, mayor resistencia a la cal y lo más importante las resistencias similares a compresión o en algunos casos superiores a la de los hormigones fabricados con Cemento Portland. **(Álvarez, 2017)**, se ha decidido investigar un material más amigable con el medio ambiente y que al ser evaluado mecánicamente en pruebas de compresión y flexión se espera que tengan una elevada resistencia. Este material es generado a partir de suelo diatomáceo el cuál se escogió porque según las investigaciones realizadas anteriormente es considerada técnicamente

como “materiales consistentes en aluminosilicatos que pese poseen poco valor cementante, en presencia de humedad y finamente divididos adquieren dicho comportamiento **(ASTM, 1989)**” **(Lopez, 2015)**

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

Teniendo conocimiento de que el cemento portland pertenece a la clase de materiales denominados aglomerantes en construcción, el cemento endurece rápidamente y alcanza resistencias altas; esto gracias a reacciones químicas de la combinación cal – sílice (Zarate, 2010). Se desea generar un material cementante similar que cumpla con sus parámetros, en este caso resistencia a compresión y a flexión y sea evaluado para su uso en el campo de la infraestructura.

3.2. Formulación del problema.

¿Cómo podemos generar suelos cementantes a partir de componentes de fácil acceso encontrados en los suelos con ciertas características químicas cumpliendo cada una de las propiedades mecánicas del cemento portland?

El tema que se quiere abarcar es de gran relevancia debido a la innovación de generar un material a partir de un suelo que se puede encontrar en Colombia y con una reacción alcalina se puede generar un material cementante similar al CP en tanto a su comportamiento físico en pruebas de compresión y flexión.

Teniendo, así como objetivo principal, evaluar este material cementante con activación alcalina a partir de suelo diatomáceo ya que podría generar resultados óptimos y satisfactorios para la investigación.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Comparar mecánicamente dos mezclas de concreto diseñados para una resistencia de 4000 PSI, una sintetizada a partir de suelo diatomáceo con activación alcalina y por otro lado otra con una muestra generada con Cemento Portland.

4.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un material cementante a partir de suelo diatomáceo y la reacción álcali - sílice.
- Determinar a partir de ensayos de flexión y compresión la efectividad del material cementante desarrollado a partir de suelo diatomáceo comparado con el cemento portland.
- Evaluar y determinar las propiedades del material de estudio en la fabricación de especímenes de concreto
- Analizar resultados de ensayos según norma tipo INVIAS y Norma Técnica Colombiana del suelo cementante propuesto y el cemento portland.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

5.1 Alcances

El proyecto en desarrollo tiene como alcance generar un material cementante a partir de suelo diatomáceo el cual cumpla con propiedades mecánicas como la resistencia del Cemento Portland, con el fin de caracterizar dichas propiedades de resistencia del material cementante propuesto, para ello se evaluará sus propiedades mecánicas por medio de ensayos que están especificados en la normatividad INVIAS y la NTC y de esta manera permitir analizarlos y compararlos con resultados del cemento portland.

Adicional se entregará poster, artículo, investigación relacionada con el presente trabajo, donde se podrán analizar los resultados obtenidos y la metodología que se llevó en el proceso.

5.2 Limitaciones

- Recursos Propios:

Los materiales utilizados para la investigación fueron completamente asumidos por los estudiantes, lo cual fue limitante ya que se obtienen a partir de recursos propios y la cantidad que se requiere para los ensayos es grande.

- Disponibilidad de Equipos Técnicos para Ensayos:

Adicional la institución no cuenta con la totalidad de equipos y espacios requerido para realizar este tipo de investigaciones.

- Horarios de Laboratorios:

La disponibilidad de los laboratorios es bastante limitada y por el auge de investigaciones que se están realizando en la Institución, los horarios no son suficientes.

- Tiempo del desarrollo del Proyecto

Los 4 meses que se tienen para realizar los ensayos descritos en la investigación es un tiempo corto ya que entre más tiempo se pueda tener, más ensayos y más especímenes se podrían realizar a las muestras del material propuesto y del cemento.

- Ensayos no realizados y Propuestos en el Anteproyecto:

Densidad Aparente: Dado que por medio del valor teórico de la densidad de la tierra de diatomea ($2,3\text{g/cm}^3$) y conociendo las propiedades del material se realiza un procedimiento para llegar a una densidad aproximada, por tanto, no fue necesario realizar el ensayo de densidad aparente propuesto en el anteproyecto.

6. ESTADO DEL ARTE.

6.1 TESIS: Evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento portland.

Tesis acerca de evaluar las características ambientales de geopolímeros elaborados a partir de dos puzolanas volcánicas, y su comportamiento frente a la capacidad de lixiviación, con el fin de determinar su potencial como reemplazo del cemento portland. (López, 2015)

Consiste en la evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas, para determinar su viabilidad como alternativa del cemento portland; se presenta además un análisis teórico ambiental comparativo entre los geopolímeros y el cemento portland. Para tal propósito, se llevó a cabo la caracterización de las puzolanas empleando técnicas como fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX) y granulometría láser. Para la determinación de la potencial toxicidad de los insumos involucrados en los geopolímeros se aplicaron las normas de TCLP (del inglés ToxicityCharacteristicLeachingProcedure) y UNE EN 12457-2. Los resultados muestran que los mejores porcentajes de retención fueron de 99,95% para Ba, 99,99% para Sr, 99,93% para Zn, 92,5% para S, 98,95% para V, y 98,71% para Cr, cumpliendo con los límites máximos reportados por la legislación, evidenciando además una alta eficiencia en la encapsulación de contaminantes como Pb y Ni, cuyos valores siempre fueron superiores al 99%. Por lo tanto, en las proporciones estudiadas es viable el uso de geopolímeros, y representan una buena oportunidad para el sector de la construcción. (López, 2015)

6.2. TESIS: Cálculo de la huella de carbono asociada a la elaboración de hormigones geopoliméricos en Chile.

En la tesis nombrada se realiza un análisis comparativo del desempeño ambiental, medido a través de la huella de carbono del hormigón geopolimérico, con relación al correspondiente del hormigón convencional. El objetivo del presente estudio es estimar la reducción de gases de efecto invernadero resultante del reemplazo de hormigón convencional por hormigón geopolimérico, en el medio nacional. Realizan la evaluación, a nivel nacional, de las fuentes de aluminosilicatos disponibles, materia prima base para la producción de geopolímeros, y la elaboración de herramienta para el cálculo de huella de carbono, aplicable al caso de los hormigones en estudio. Se realiza, además, una comparación de la implicancia económica de esta nueva tecnología. Los resultados que obtenidos dan cuenta de una significativa reducción de las emisiones de CO₂e, medida universal utilizada

para indicar el potencial de calentamiento global asociado a los gases con efecto invernadero, al usar hormigón geopolimérico como alternativa al uso de hormigón convencional. (Muñoz, 2015)

6.3. TESIS: Obtención y caracterización de geopolímeros sintetizados a partir de la escoria granulada de alto horno como uso alternativo del cemento portland.

Esta tesis consistió en identificar el tipo de solución activante y la dosificación que arroje los mejores resultados de resistencia a compresión en morteros. Para ello, se utilizaron como activantes hidróxidos de sodio (NaOH) y silicato de sodio (Na_2SiO_3) de origen industrial y la combinación de ambos. Como precursor la escoria granulada de alto horno (EGAH) de producción nacional. Una vez optimizado los materiales a usar se modificaron las condiciones de curado para identificar su influencia, de igual forma, las muestras se sumergieron en agua salada, sulfatada, destilada y la que suministra el acueducto con el fin de medir su deterioro frente a ciertos ambientes.

Se midió el calor generado por las pastas activadas en un calorímetro semi-adiabático y se intentó correlacionar los resultados con la microscopía electrónica de barrido, la difracción de rayos x y la impedancia electroquímica. Lo anterior con el fin, de establecer los mecanismos de activación y así poder identificar en el tiempo los productos de reacción. Finalmente se elaboró un diseño de mezcla de concreto con la mejor dosificación y se midió la penetración del ion cloruro por el método RCPT. Los resultados asociados con la resistencia y durabilidad suministraron información que permitió caracterizar mejor este material. (Torres, 2017)

6.4. TESIS: Synthesis of geopolymers from alkaline activation of gold mining wastes.

Este trabajo presenta los resultados preliminares relacionados con el desarrollo de polímeros inorgánicos (geopolímeros) a partir de la activación alcalina de residuos de la minería de oro. La caracterización mineralógica y fisicoquímica de estos residuos de minería de oro muestra su gran potencial como fuente de precursores geopoliméricos como una alternativa razonable para el desarrollo de aglutinantes activados alcalinamente amigables con el medio ambiente. El proceso de geopolimerización es un camino viable para transformar estos residuos en materiales con alta resistencia mecánica, alta inercia química y alta durabilidad en

el tiempo, dando valor agregado a los subproductos de la actividad minera. (Caballero, 2013)

6.5. ARTICULO: Utilización potencial de una ceniza volante de baja calidad como fuente de aluminosilicatos en la producción de geopolímeros.

Este artículo presenta la síntesis de materiales geopoliméricos a partir de una ceniza volante de origen colombiano (FA). Se evaluaron diferentes condiciones de activación de esta ceniza mediante el ajuste de los módulos totales de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, así como el efecto de la incorporación de dos fuentes de calcio: una escoria granulada de alto horno (GBFS) y un cemento Portland tipo I (OPC). La cinética de las reacciones desarrolladas después de la activación alcalina de la FA se evaluó realizando una calorimetría isotérmica, según la cual los sistemas de mayor alcalinidad exhiben una mayor liberación de calor y un mayor grado de disolución de la fuente primaria. La incorporación de la fuente de calcio modifica la cinética de reacción y el tipo y características de los productos formados tras la activación. El incremento en la relación molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ del sistema condujo a obtener materiales con una resistencia a la compresión superior hasta en ~77 %. En términos generales, la incorporación de una fuente de calcio al sistema contribuye a la adquisición de un mejor desempeño mecánico en todas las edades de curado en estudio. Los resultados evidencian el potencial aprovechamiento de esta FA para producir cementos no convencionales con resistencias a 28 días de curado superiores a los 50 MPa. (Potential Utilization of a Low Quality-Fly Ash as an Aluminosilicate Source in the Production of Geopolymers., 2014)

6.6. INFORME: Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de tierra con geopolímeros (btg).

El presente artículo da a conocer los resultados parciales de una investigación que combina la ciencia de los materiales con la construcción con tierra y el medio ambiente. En dicho trabajo se aborda el estudio de la técnica del bloque de suelo cemento, conocida como BSC, y la posibilidad de mejorar su desempeño estructural y su durabilidad por medio del proceso de geopolimerización, reemplazando parcial y totalmente el cemento Portland, disminuyendo así las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Para la confección de las mezclas se hizo una caracterización de un suelo residual mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), se emplearon geopolímeros de hidróxido de sodio y cenizas volantes tipo F; se diseñaron tres tipos de compuestos y se sometieron a fallado al esfuerzo de compresión en laboratorio acreditado para ensayos de materiales de construcción. Dos de las mezclas presentaron resistencias que cumplen con la normatividad colombiana,

superando incluso la resistencia exigida a una edad de 28 días para los bloques de tierra estabilizados con cemento Portland. Su aplicación se hará en un proyecto de equipamiento para Viviendas de Interés Prioritario en la ciudad de Medellín, Colombia. (Yepes, 2012)

6.7. ARTICULO: Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species.

Este artículo realiza una investigación acerca de las Diatomeas y realiza una caracterización de ellas. Esta investigación consideró dos especies de Diatomeas (Aulacoseiragranulata _ origen colombiano y CoscinodiscusCentric _ origen mexicano) tendientes a identificar la variación en la resistencia al corte, la compresibilidad y los criterios de caracterización, con base en la variación de la especie. A partir de los resultados, fue posible concluir que los métodos convencionales de clasificación y caracterización (Casagrande) no son totalmente adecuados para estudiar los suelos de diatomeas. (Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species., 2015)

6.8. INFORME: Evaluación microestructural de geopolímeros basados en metacaolín y fuentes alternativas de sílice expuestos a temperaturas altas

El presente estudio evalúa el efecto de la exposición a 600° y 1200°C de sistemas geopoliméricos basados en metacaolín (MK) con la utilización de activadores basados en KOH. Se evaluó la utilización de una ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y un humo de sílice comercial (SF) como fuentes alternativas de sílice para la preparación del activador alcalino. La exposición a las temperaturas elevadas conduce a la deshidratación de los productos formados durante la activación del MK y cambios estructurales asociados a la transformación del gel geopolimérico a estructuras cristalinas tipo leucita (KAlSi_2O_6) y kalsilita (KAlSiO_4), lo cual promueve la densificación y reducción de la porosidad del material. La presencia de partículas de MK sin reaccionar en los materiales geopoliméricos condujo a la formación de mullita ($2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), después del tratamiento a 1200°C. (Villaquirán, 2015)

6.9. ARTICULO: Geopolymer and Portland cement concretes in simulated fire

El concreto de cemento Portland de alta resistencia tiene un alto riesgo de desprendimiento de fuego. Se dice que el Geopolímero, una alternativa ecológica al cemento Portland, posee propiedades superiores resistentes al fuego. Sin embargo, el comportamiento de desprendimiento del concreto geopolímero en fuego no se

informa. En este trabajo, los concretos de geopolímero y cemento Portland con resistencias de 40 a 100 MPa estuvieron expuestos a aumentos rápidos de temperatura, simulando exposiciones al fuego. (Geopolymer and Portland cement concretes in simulated fire, 2015)

6.10. ARTICULO: Geopolymer technology: the current state of the art

Se presenta una breve historia y revisión de la tecnología de geopolímeros con el objetivo de introducir la tecnología y las vastas categorías de materiales que pueden sintetizarse mediante la activación con álcali de aluminosilicatos. Las características químicas y estructurales fundamentales de los geopolímeros derivados de metacaolín, cenizas volantes y escoria se exploran en términos de los efectos de la selección de materias primas sobre las propiedades de los compuestos de geopolímeros. Se muestra que las materias primas y las condiciones de procesamiento son fundamentales para determinar el comportamiento de fraguado, la trabajabilidad y las propiedades químicas y físicas de los productos geopoliméricos. Se presentan las características estructurales y químicas que son comunes a todos los materiales geopoliméricos, así como aquellas que están determinadas por las interacciones específicas que ocurren en diferentes sistemas, proporcionando la capacidad de diseñar geopolímeros a medida para aplicaciones específicas en términos de requisitos técnicos y comerciales. (Geopolymer technology: the current state of the art, 2006)

6.11. ARTICULO: Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete

Este informe de investigación describe la primera parte del trabajo llevado a cabo por el grupo de investigación geopolímero en la Universidad de Tecnología de Curtin. Describe el desarrollo y las propiedades del hormigón de geopolímero a base de cenizas volantes bajo en calcio curado por calor. A este Informe le seguirán otros dos Informes que describen las propiedades a largo plazo del hormigón geopolímero y el comportamiento de vigas y columnas de hormigón geopolímero reforzado. (Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, 2005)

7. MARCO TEÓRICO

Es de suma importancia dar explicación antes brevemente datos técnicos acerca del cemento, cómo su producción (ya que es el material que se pretende generar con fuentes primarias diferentes), evaluar sus propiedades mecánicamente para que sean comparadas con el material cementante investigado. Además, explicar en qué consiste un suelo cementante y las diatomeas como precursor de un material cementante.

7.1. CEMENTO PORTLAND

7.1.1. ¿Cómo se produce?

Guiándonos de IECA (Instituto Español del cemento y sus aplicaciones damos una pequeña explicación de la fabricación del cemento el cual puede ser dividido en tres etapas principales: la preparación de las materias primas, su calcinación en hornos especiales y el molido del Clinker para obtener el cemento en polvo. Su producción se divide en varias etapas:

- Explotación de materias primas: se realiza por voladuras controladas de las cuales se extrae las calizas y barrenos que son materiales más duros, mientras que para materiales más blandos se realiza por excavación. (Lora, 2016)
- Trituración: finalizado la clasificación del material se prepara para su trituración hasta tener una granulometría adecuada y que pueda ser llevado a fábrica. (Goma, 1979)
- Homogeneización y Molienda de Crudo: consiste en mezclar las arcillas y calizas, que ya han sido trituradas. Se lleva a cabo por medio de bandas transportadoras o molinos, para reducir su tamaño hasta el orden de diámetro de medio milímetro. (Goma, 1979)
- Clinkerización: consiste en llevar la mezcla homogeneizada a hornos rotatorios a altas temperaturas, aproximadamente a 1500 °C. En la parte final del horno se produce la fusión de varios de los componentes y se forman gránulos de 1 a 3 cm de diámetro, conocidos con el nombre de Clinker. (Lora, 2016)
- Enfriamiento: consiste en una disminución de la temperatura para poder trabajar con el material hasta los 100°C aproximadamente. (Goma, 1979)
- Adiciones finales y molienda: una vez que el Clinker se ha enfriado, se prosigue a obtener la finura del cemento, que consiste en moler el Clinker. Después se le adiciona yeso con el fin de retardar el tiempo de fraguado. (Lora, 2016)

- Empaque y distribución: esta última etapa consiste en empaquetar el cemento fabricado teniendo mucho cuidado con diversos factores que puedan afectar la calidad del cemento. Luego se transporta y se distribuye con cuidados especiales. (Goma, 1979)

Es importante reiterar que la extracción de los minerales constituyentes del cemento se hace en canteras, que preferiblemente deben estar próximas a la fábrica. (Goma, 1979)

7.1.2. Cualidades del Cemento Portland:

Para poder crear un material cementante que pueda sustituir al cemento portland se debe conocer muy bien qué cualidades y características tiene éste para poder compararlos técnicamente y pueda ser validado. A continuación, las cualidades pueden ser: (Goma, 1979)

- Resistencia, la compresión es afectada fuertemente por la relación agua/cemento.
- Durabilidad y flexibilidad, ya que es un material que no sufre deformación alguna.
- El cemento tiene una propiedad hidráulica que hace que, al mezclarse con agua, reacciona químicamente hasta endurecer. El cemento es capaz de endurecer en condiciones secas y húmedas e incluso, bajo el agua.
- El cemento es un material que puede ser moldeable, al entrar en contacto con el agua y los agregados, el cemento es capaz de asumir cualquier forma tridimensional.
- El cemento tiene alta durabilidad tanto como la piedra. A pesar de las condiciones climáticas, el cemento conserva la forma y el volumen, y su durabilidad se incrementa con el paso del tiempo.
- El cemento es un adhesivo tan efectivo que una vez que fragua, es casi imposible romper su enlace con los materiales tales como el ladrillo, el acero, la grava y la roca.
- Los edificios hechos con productos de cemento son más impermeables cuando la proporción de cemento es mayor a la de los materiales agregados.
- El cemento ofrece un excelente aislante contra los ruidos cuando se calculan correctamente los espesores de pisos, paredes y techos de concreto.

7.1.3. Ensayos del Cemento

Para poder comparar el suelo cementante propuesto con el cemento se debe hablar de los ensayos realizados al cemento y al concreto. Así se podrá obtener en la metodología valores teóricos y prácticos los cuales podemos llevar a gráficas y hablar numéricamente de beneficios.

Los ensayos a realizar son:

A. ELABORACIÓN Y CURADO DE EPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN INV E-402-13

Esta norma tiene por objeto establecer procedimientos para la elaboración y el curado de especímenes de concreto en el laboratorio, bajo un estricto control de materiales y de las condiciones del ensayo. (Invias, 2013)

B. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO INV E - 410 - 13

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pie^3). El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. (Invias, 2013)

C. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN EL CENTRO INV E - 415 - 13

Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en los tercios de la luz libre. Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402, INV E-418 o INV E-420. El resultado se calcula e informa como "módulo de rotura". La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o las condiciones bajo las cuales se ha moldeado o aserrado la viga al tamaño de ensayo. (Invias, 2013)

D. ASTM C109/C109M - 12 Historical Standard: Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (NTC 220)

Este Método de Ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, utilizando especímenes cúbicos de 2 in. o [50 mm].

Proporciona un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros. Los resultados se pueden emplear para determinar la conformidad con las especificaciones y otros métodos de ensayos. No se deben emplear sus resultados para estimar la resistencia del concreto.

7.1.4. Usos para mezclas de concreto

La resistencia: está usualmente determinada por las pruebas de compresión simple. Las mezclas de concreto convencionales varían entre 14 y 35 Mpa de resistencia: (H&M, 2005)

- **Concreto Premezclado Convencional:** Es el de mayor aplicación cuando se requiere concreto estructural con resistencia de entre 14 y 35 Mpa. Como su nombre lo indica, es el concreto más utilizado en construcciones recurrentes como casas de habitación, edificios o urbanizaciones.
- **Concreto Autocompactable:** Es un tipo de mezcla especial de concreto con alto nivel de fluidez, lo que beneficia de gran manera al no requerir vibración. Por esto, se utilizan tamaños de máximo 12 m. Principalmente se utiliza donde se dificulte la vibración como en pilotes de fundaciones.
- **Tobacemento:** Es un concreto de baja resistencia, entre 25 y 75 kg/cm² y de poca fluidez. Es utilizado en estructuras de suelos de baja resistencia, rellenos, entre otros.
- **Concreto Compactado con Rodillo (RCC):** Este concreto se caracteriza por la técnica de compactado con rodillo. Además, es totalmente seco y se utiliza únicamente el agua necesaria para el fraguado (endurecimiento del material). Por estas características, es aplicado solamente en obras masivas de concreto o pavimentación.

7.2. SUELOS CEMENTANTES

7.2.1. ¿Qué son los suelos cementantes?

Los suelos cementantes son una nueva clase de materiales considerados revolucionarios debido a sus ventajas técnicas, como: resistencia mecánica elevada y excelente estabilidad frente a medios agresivos. El proceso químico al que es sometido el material cementante es diferente a la fabricación del cemento portland tradicional; con ellos pueden fabricarse materiales diversos, como morteros y hormigones sin necesidad de utilizar cemento portland. (Villaquirán, 2015)

Los suelos cementantes se obtienen a partir de la activación alcalina de minerales naturales, desechos o subproductos industriales para generar un producto con características cerámicas que presentan ventajas a nivel ambiental y con propiedades similares y en algunos casos superiores frente a materiales tradicionales. (Villaquirán, 2015)

Estos nuevos materiales llaman gran interés por sus prestaciones y por su menor cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera, entre el 20 y el 40% de la emitida en la fabricación del cemento portland), por su menor consumo de energía, por la preservación de materia prima no renovable y por la reutilización de residuos y de subproductos de procesos industriales. Los nuevos materiales desarrollan propiedades cementantes que los convierten en cementos y hormigones de características diferentes a los tradicionales y contribuyen con su utilización a hacer la industria de la construcción más sostenible. (Álvarez, 2017)

El nuevo cemento representa una muy viable posible alternativa al cemento portland. Para extender su consumo a escala industrial, es necesario continuar las investigaciones para conseguir fabricar con él, morteros y hormigones de resistencias tempranas y de estabilidad química similares a las obtenidas con el cemento portland, en condiciones de curado a temperatura ambiente.

7.2.2. ¿Cómo se producen?

Los suelos cementantes son polímeros inorgánicos que siguen una ruta química de polimerización, similar a la de los polímeros orgánicos, mediante un proceso específico de geopolimerización que se desarrolla en varias etapas en un medio alcalino. Constituyen un sistema formado por la síntesis química de sus componentes que fraguan y endurecen a temperatura ambiente; la síntesis química se desarrolla siguiendo una ruta química diferente de la seguida en la fabricación del cemento portland, que origina una fase cementante de microestructura sintética y con distintas propiedades. Sus principales propiedades son: fraguado lento, curado rápido y rápido desarrollo de la resistencia, la mayor parte se desarrolla a las 24 horas. (Álvarez, 2017)

Las posibles materias primas precursores para la fabricación de materiales cementantes, son los materiales silicoaluminatos que contengan muy poca cantidad de Ca₂ e impurezas en su composición y cantidades importantes de SiO₂ y de

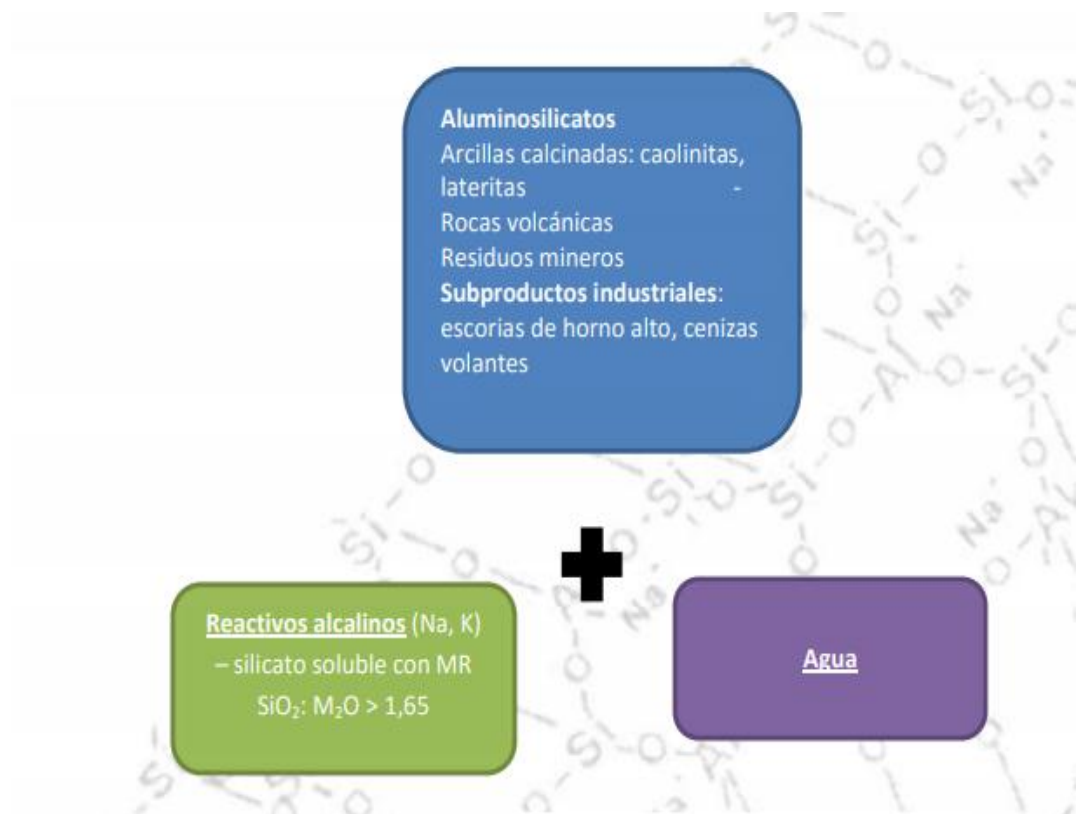
Al₂O₃ de estructura amorfa; pueden incorporar puzolanas no calcáreas, metacaolín, residuos de vidrio, mezcla de metacaolín y residuos de vidrio, materiales de origen geológico, que convierte a los materiales cementantes en productos ecológicos que no necesitan para su fabricación utilizar rocas calizas. (Álvarez, 2017)

El mecanismo físico - químico de la geopolimerización es muy complejo, en el que las reacciones químicas exotérmicas se producen muy rápidamente, casi simultáneamente, pero con una cinética interdependiente y sin producción de CO₂; J. Davidovits considera que se realiza en tres etapas:

(Álvarez, 2017)

- A. 1ª Etapa:** Disolución de los aluminosilicatos en una solución alcalina fuerte (pH>12) Es la más importante; en ella se disuelven las partículas vítreas o amorfas de los aluminosilicatos y se rompen los enlaces Si - O - Si y Al - O - Si de las partículas activas de los aluminosilicatos por la acción de los iones OH⁻ presentes en la solución alcalina y se liberan los iones Si⁴⁺ y Al³⁺ formándose una suspensión coloidal. Los óxidos de aluminio y de silicio absorben agua y se combinan con los grupos OH⁻; como consecuencia de la disolución se forman diversos monómeros de silicio y de aluminio. En esta primera etapa se liberan también cationes del reactivo alcalino utilizado Na⁺ y/o K⁺; éstos se unen con los aniones presentes en la solución para formar monómeros de hidróxidos de silicio y de aluminio; los hidróxidos formados se unen entre sí, por su afinidad electroquímica, por enlaces covalentes fuertes con los átomos de oxígeno y se forman grupos de tetraedros (orto-sialatos), para valores de SiO₂/Al₂O₃=1. La unión de dos o más monómeros forman dímeros, trímeros, tetrámeros.
- B. 2ª Etapa:** Reorientación de los Grupos de Iones Formados Se forman las macromoléculas, oligómeros con enlaces Si - O - Si (siloxonato) formando cadenas cortas por la unión de los tetraedros (SiO₄) . Los iones (Al(OH)₄), formados en la 1ª Etapa, se introducen en las cadenas siloxonatos y forman las nuevas cadenas Si - O - Al (oligo - sialato), que se equilibran eléctricamente con la incorporación de los cationes Na⁺ y/o K⁺; se inicia la geopolimerización con la aparición de estructuras oligoméricas diversas en función de la relación SiO₂/Al₂O₃.
- C. 3ª Etapa:** Policondensación En esta etapa se intensifica el proceso de síntesis, el sistema continúa reordenándose y reorganizándose y se incrementa la conectividad del entramado estructural del geopolímero que, finalmente, produce una estructura tridimensional amorfa o semicristalina para valores de SiO₂/Al₂O₃= 1 - 3 y bidimensional amorfa para valores SiO₂/Al₂O₃.

Figura 3 Como se produce un material cementante



Fuente: (Álvarez, 2017)

7.2.3. Propiedades de los Suelos Cementantes

Las propiedades dependen de su microestructura final; ésta depende de varios factores, los principales son: (Álvarez, 2017)

- El tipo de material aluminosilicatos precursor utilizado.
- La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ condiciona el carácter, el desarrollo espacial de la microestructura y las propiedades principales de los materiales cementantes fabricados, cemento, hormigón y materiales compuestos.
- La composición química y la concentración molar del activador alcalino: Generalmente se utilizan silicatos sódico y potásico con una relación molar $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O} > 1.45$; también puede añadirse cemento portland o portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Las propiedades principales de los materiales cementantes son: (Álvarez, 2017) Más ecológicos, más ligeros endurecimiento (el 50% en 18h.) y curados (en 3h.) rápidos

- ❖ Fácil manipulación
- ❖ Mayor resistencia a los ácidos cloruros y sulfatos
- ❖ Reducción muy importante de las emisiones de CO_2 (del 70 - 80%)

- ❖ Resistencia al ciclo hielo-deshielo
- ❖ Mayor durabilidad
- ❖ Retracción mínima
- ❖ Mayor resistencia al calor
- ❖ Resistencias a compresión similares o superiores a la de los hormigones fabricados con cemento portland (Max. 90-100 Mpa.); resistencia a flexión (10-15 Mpa.) sin adición de fibras.

7.3. SUELO DIATOMÁCEO

7.3.1. Estructura de las diatomeas

La pared celular está compuesta por dos mitades o “valvas” que encajan perfectamente y que encierran el protoplasma celular. Estas valvas se conocen como frústulos y están compuestas por pectina con impregnaciones de óxido de silicio que puede ser tan abundante que sobrepase el 90% del peso total. Una valva, la epiteca, es mayor y se sitúa externamente sobre la valva menor o hipoteca. Las superficies de las valvas son las “caras valvares” y las partes laterales se denominan “pleuras”, lo que determina dos aspectos o formas diferentes según se haga una observación valvar o pleural de la célula. Las valvas tienen finas grabaduras que siguen un patrón fijo para cada especie y que son producto de la forma particular en que se depositan los compuestos de silicio en cada caso (O. G, 2008)

7.3.2. Usos de las diatomeas

El estudio de las diatomeas hace eco en diversas ciencias como la ecología, arqueología, la forense; en esta última ha permitido esclarecer casos de homicidio difíciles de resolver. Como insecticida la llamada tierra de diatomea combate plagas con extrema eficacia y sin dañar las plantas, no constituye un tóxico para los humanos al no dejar residuos en los frutos. Como complemento los suelos formados por diatomeas son utilizados para fabricar cemento, vidrio, dinamita y materia prima para filtros de agua. (O. G, 2008)

8. MARCO LEGAL

8.1. ELABORACIÓN Y CURADO DE EPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN INV E-402-13

Esta norma tiene por objeto establecer procedimientos para la elaboración y el curado de especímenes de concreto en el laboratorio, bajo un estricto control de materiales y de las condiciones del ensayo. (Invias, 2013)

- Los materiales deben ser llevados a la temperatura del laboratorio, preferiblemente entre 20 y 30°C.
- El cemento se debe almacenar en recipientes impermeables, preferiblemente metálicos.
- El tamaño de la mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10% de residuo después del moldeo del espécimen de ensayo.
- Se debe medir el asentamiento inmediatamente después de elaborada la muestra
- Se coloca el concreto en el molde en el número de capas requeridas de aproximadamente el mismo volumen. Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla.
- Después de la consolidación se remueve el exceso de concreto sobre los bordes del molde y se empareja con un palustre
- Los especímenes se deben remover de sus moldes en un lapso 24 ± 8 horas después de su elaboración
- Los especímenes para ensayo de resistencia a la flexión se deben sumergir en agua saturada con hidróxido de calcio a $23.0 \pm 2^\circ\text{C}$. Se debe evitar en secado de sus superficies.

8.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO INV E - 410 - 13

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3). El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la

máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. (INV, 2013)

- El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente falla
- Los especímenes no se deben ensayar si cualquier diámetro de un cilindro difiere, en más de 2% de otro diámetro del mismo cilindro.
- Los ensayos de compresión de especímenes curados en agua se deben hacer inmediatamente después de removerlos del lugar de almacenamiento húmedo
- La carga se debe aplicar continuamente y sin impacto

8.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL INV E-415-13

Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en el punto central. Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402, INV E-418 o INV E-420. El resultado se calcula e informa como "módulo de rotura". La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o las condiciones bajo las cuales se ha moldeado o aserrado la viga al tamaño de ensayo. (INV, 2013)

- Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deben realizar tan pronto sea posible luego de su remoción del sitio de curado
- Para especímenes moldeados, se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte.
- Utilizando calibradores normalizados de lámina de 0.1mm y de 0.40mm se determina si presenta algún vacío entre espécimen y los bloques de carga
- La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo

8.4. ASTM C109/C109M - 12 Historical Standard: Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (NTC 220)

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica de los morteros y concretos, su determinación consiste en realizar cubos de mortero, de (50*50 mm) de lado; que luego de determinada cantidad de días, se someten a la máquina de ensayo, que ejerce una fuerza a compresión sobre ellos.

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto de 3 cubos a los 7 días de edad
- Preparación de los cubos, con el mortero preparado según la NTC- 112, (a partir de 500 de cemento), se coloca el cemento en los moldes realizando las capas y golpes estipulados en la presente norma
- Después de 3 días se realiza un desmolde y proceso de curado, colocando los cubos en la piscina.
- Pasados 7 días se sacan y secan para proceder a la máquina de ensayo
- Deben ser fallados a 7, 14 y 28 días

9. METODOLOGÍA

1. Generar el material cementante

Para cumplir con este objetivo debemos contar con los materiales requeridos a partir de un suelo diatomáceo y una reacción alcalina. Se debe seguir con el plan de dosificación y el procedimiento especificado

2. Caracterización del material cementante

Se realizará una descripción física y química detallada del material a partir de ensayos y estudios que muestren estas propiedades y el beneficio que se busca con el uso de este nuevo material

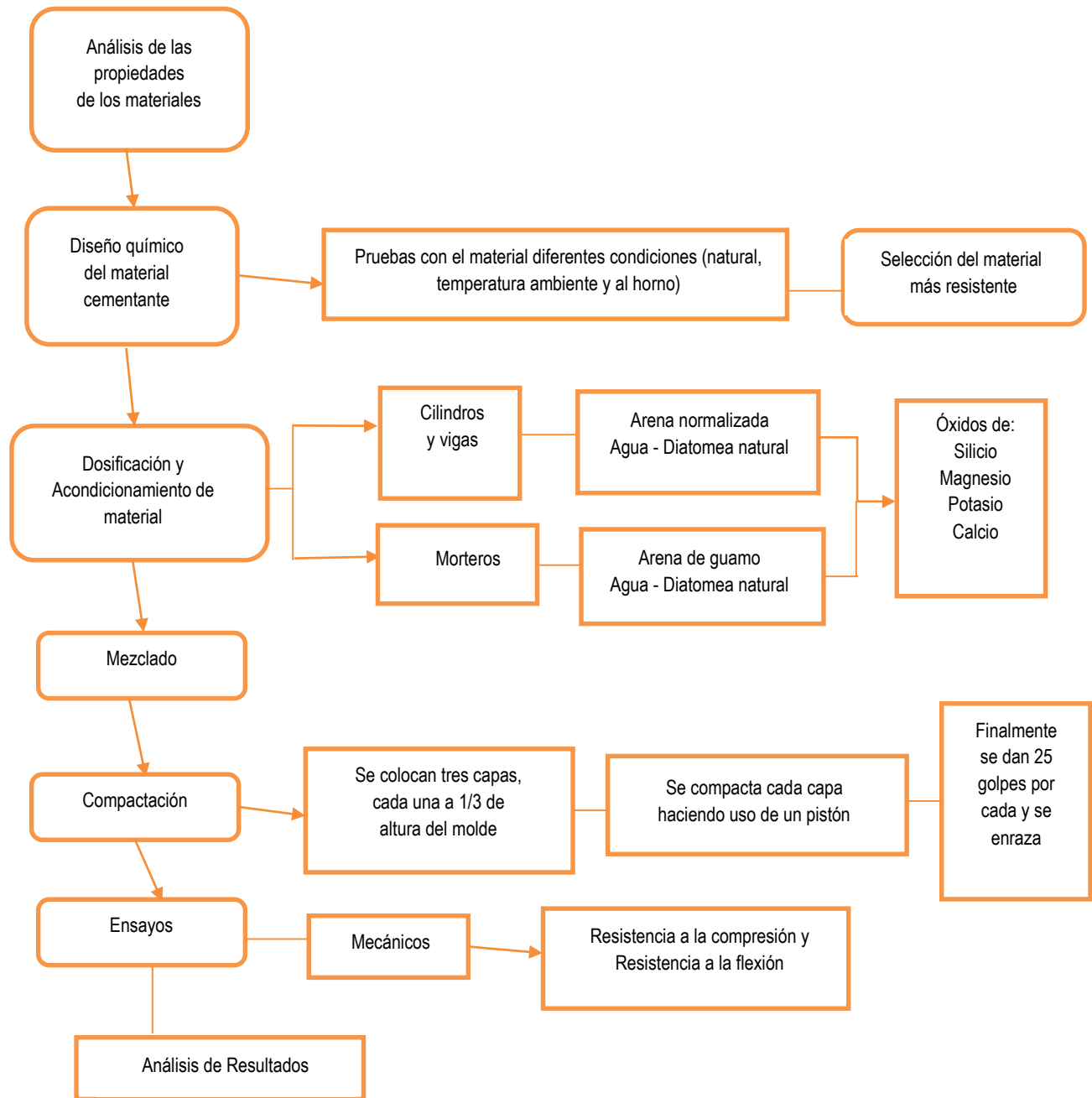
3. Evaluar las propiedades del material

Se determinará las propiedades del material cementante en estudio para la fabricación de los especímenes de concreto para verificar su resistencia

4. Analizar los resultados de los ensayos

Después de haber realizado los ensayos según la INVIAS y la NTC se realiza una comparación de los resultados del material cementante propuesto con el cemento portland tradicional para llegar a la conclusión final de la investigación

Figura 4 Diagrama explicación de metodología



Fuente: Autores

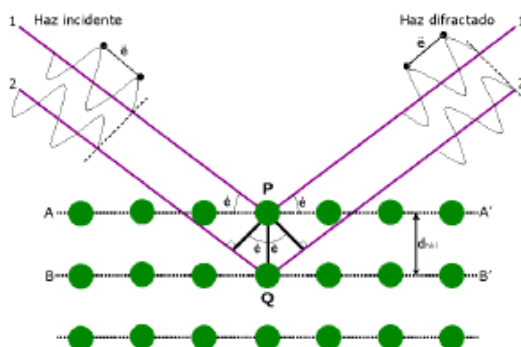
10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

10.1. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.

- Difracción de Rayos X (DRX), El objetivo es determinar la estructura cristalina de un material, es decir permite conocer la posición que ocupa los átomos o moléculas. Se usan rayos x cuya longitud de onda es del orden del espaciamiento interatómico. Esta difracción es una técnica versátil, no destructiva y analítica para la determinación de fases, estructura, textura y tensiones que puedan estar presentes en materiales sólidos, polvos y líquidos. Debido a esto es posible conocer las propiedades físicas y químicas de los materiales.

La radiación "rebota" en el plano como si fuese un espejo y el ángulo de incidencia es el ángulo de reflexión (Delgado, 2013)

Figura 5 Difracción de rayos x



Fuente: (Delgado, 2013)

10.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA MEZCLA

Debido a que la activación alcalina se controla, en gran medida, por procesos a escala molecular, es importante contar con técnicas experimentales cada vez más sofisticadas que brinden mejor información de los procesos y fenómenos que se dan al interior de una reacción. (Torres, 2017)

10.2.1. Diatomeas

Para la caracterización del material, se realizaron ensayos de Difracción de Rayos X (DRX) a los diferentes tipos de mezcla propuestos del material precursor (la diatomea) con los respectivos óxidos.

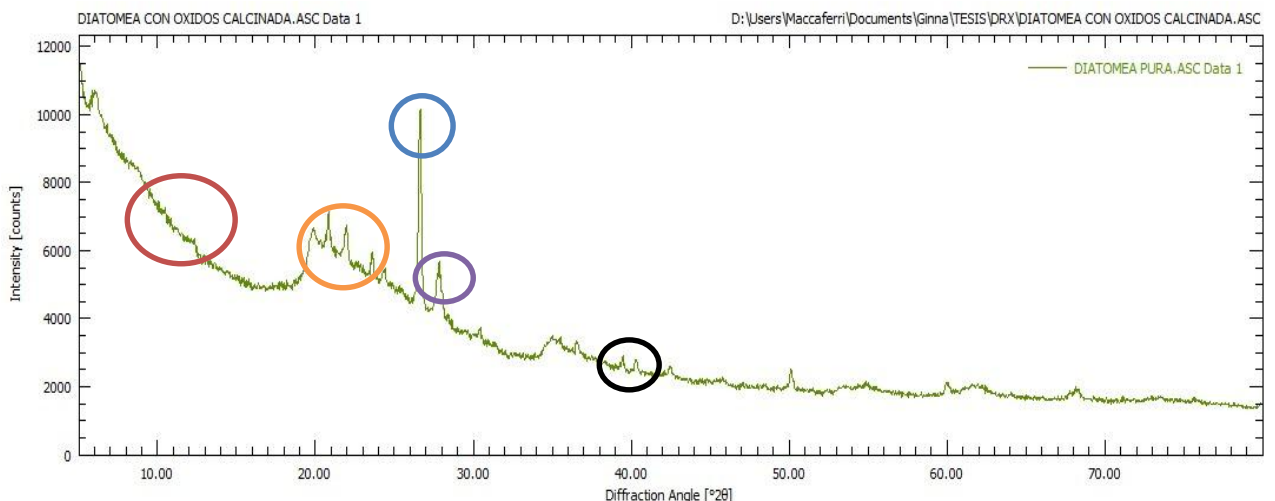
Esto con el fin de poder visualizar por medio de los difractogramas los picos que se pueden formar con la incorporación de los óxidos respecto a la muestra natural de la Diatomea. Adicional para conocer su carácter amorfo o cristalino Se realizaron los ensayos para 4 muestras:

- Mezcla de diatomeas con óxidos llevados a proceso de calcinación: Primero se realizó la mezcla de las diatomeas con los óxidos y seguido a esto se realizó un proceso de calcinación de 400° durante 6hr continuas.
- Diatomea calcinada previamente seguida del proceso de mezcla con óxidos: Se realiza primero el proceso de calcinación a la muestra de la diatomea a 400° durante 6hr continuas seguidas del proceso de mezcla con los óxidos.
- Mezcla de óxidos con diatomea sin proceso de calcinación: Se realiza solamente la mezcla de los óxidos con la diatomea.
- Diatomea Pura: es la muestra en estado natural sin la incorporación de ningún óxido.

A continuación, se enseñan los resultados obtenidos a partir del ensayo de DRX por medio del software Profex 3.13.0, donde se hará una breve descripción de cada mezcla y sus componentes mineralógicos en los casos donde se tengan picos elevados.

- Diatomea Natural

Figura 6 DRX Diatomea en estado natural



Fuente: Profex 3.0

En este difractograma se destaca una gran desviación en la línea base entre los 10-18° 2θ.

En esta gran desviación, señalada con el la figura de color rojo, según la base de datos del software se tiene gran cantidad de Ardealita cuya formula es $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)(\text{SO}_4)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y posee un sistema de cristalización monoclinico. Adicional tenemos seguido otros picos relevantes que contienen cantidades de Sulfato de magnesio hidratado, cloruro de magnesio hexahidratado y Fosfato monopotásico.

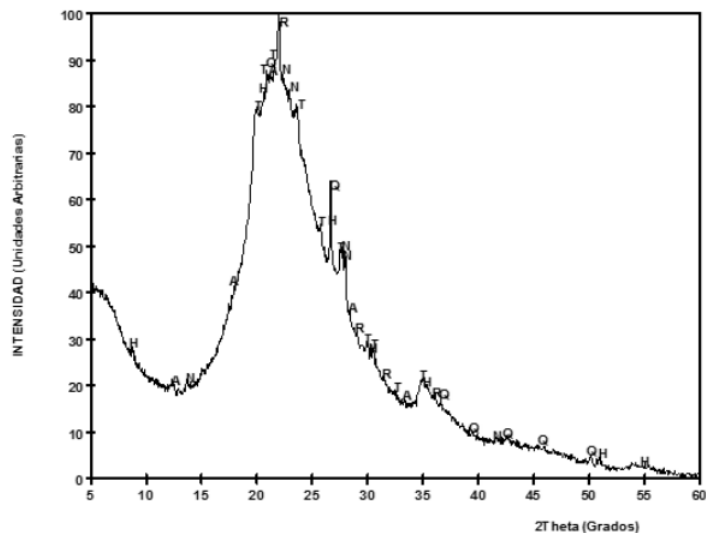
Seguidos a estos picos, encontramos uno elevado que representa la presencia de Cuarzo en la diatomea es decir Óxido de Sílice en su mayor cantidad respecto a los demás componentes. En el siguiente pico se detecta Rulita, el cual es un mineral compuesto por óxido de titanio.

Para la muestra de diatomea pura, se han investigado fuentes en las cuales ya se ha realizado el ensayo de DRX a diferentes tipos de muestra para poder ser comparadas con la misma:

Según la investigación de Carranza Terreros, (Terreros, 2017) se hará la descripción de 3 diferentes tipos de diatomeas para poderlas comparar con la muestra escogida para el desarrollo de esta investigación.

Para la primera muestra según la Figura 7 se puede ver que los minerales que más se destacan durante todo el proceso son el Cuarzo (Q) y la Cristobalita ® siendo ambas SiO_2 con diferente estructura cristalina y dentro de los minutos 15 y 30 se ve como las reacciones aumentan significativamente.

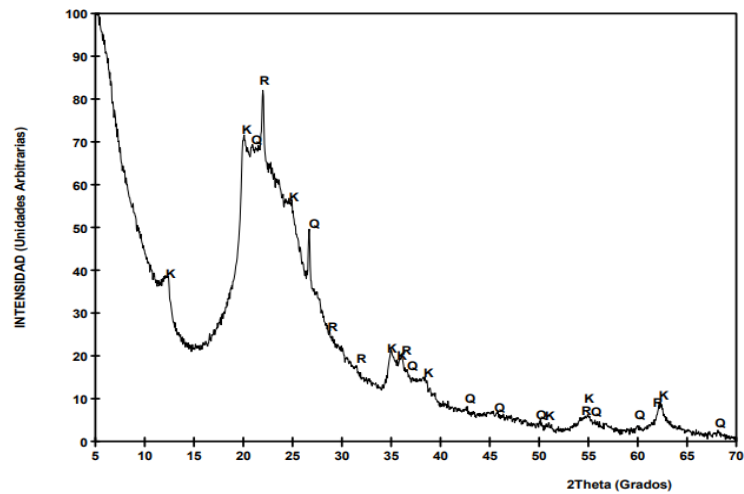
Figura 7 Difractograma de tierra de Diatomeas tipo 1



Fuente: (Terreros, 2017)

Para la segunda muestra según la Figura 8 se presenta un carácter amorfo y de igual manera entre el minuto 15 y 30 presenta una alta desviación desde su base, y sus minerales principales son cristobalita y el cuarzo y tiene varios picos donde presenta Caolinita.

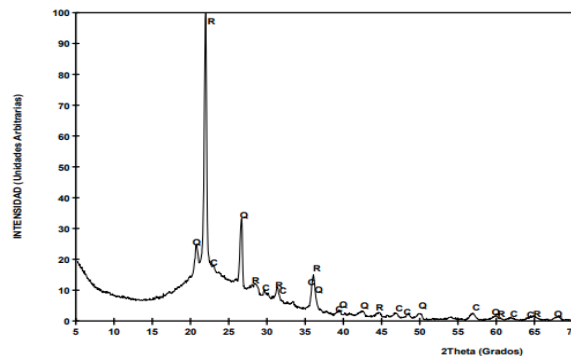
Figura 8 Difractograma de diatomea tipo 2.



Fuente: (Terreros, 2017)

Para la tercera muestra según la Figura 9 con previa calcinación del material a 500°C presenta desviación de la línea base, lo que indica que en el material sigue existiendo sílice amorfa- El carácter amorfo de las muestras junto con la cantidad elevada de óxido de silicio que contiene la muestra es un buen indicio para su posible utilización como puzolana en muestras con cemento y cal. En sus picos más altos presentan SiO₂ de diferente estructura cristalina.

Figura 9 Difractograma de diatomea tipo 3. (Terreros, 2017)

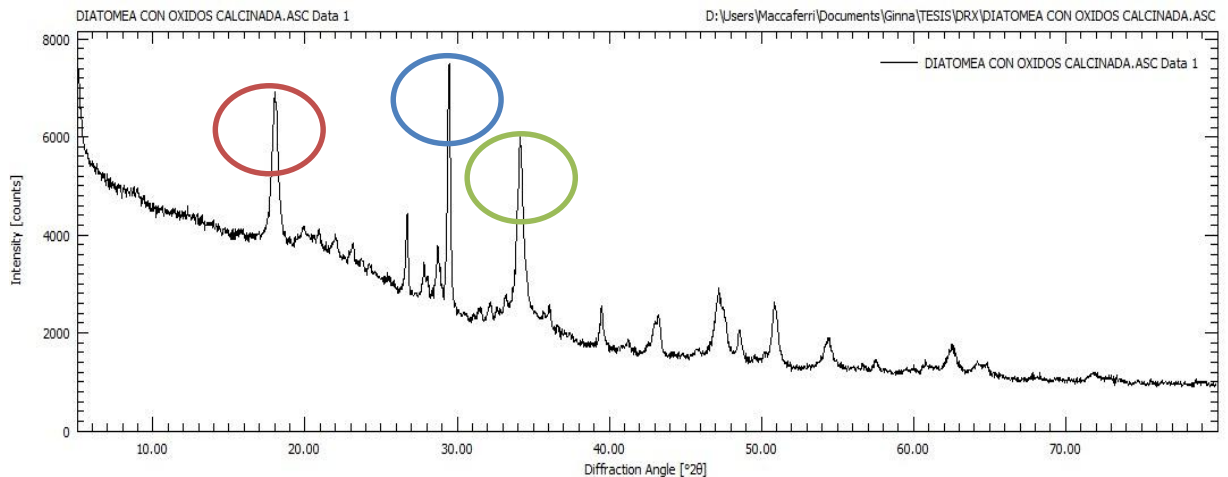


Fuente: (Terreros, 2017)

Según a estos resultados presentados por Carranza Terreros (Terreros, 2017), se puede verificar que la diatomea tanto presentada por Carranza cómo la muestra elegida para esta investigación presenta altas cantidades de cuarzo alrededor de los 15 a 30°, lo cual infiere grandes cantidades de Oxido de Silicio. Paralelamente también presentan grandes desviaciones de la línea de base lo cual hace que sean estructuras amorfas.

- Mezcla de diatomeas con óxidos llevados a proceso de calcinación:

Figura 10 DRX Diatomea con óxidos calcinada



Fuente: Profex 3.0

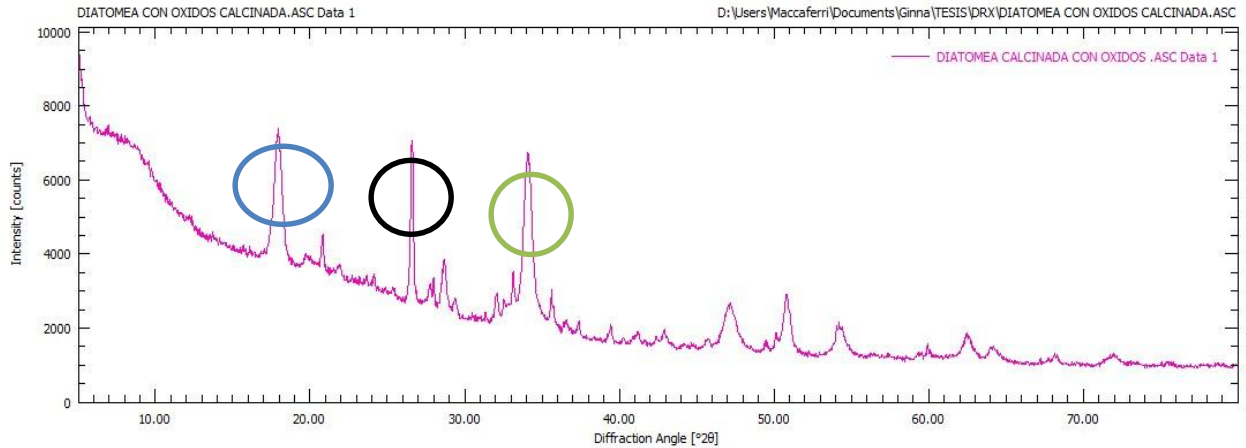
En este difractograma se destacan tres picos que a continuación daremos explicación de la composición que tienen mayor intensidad en el ensayo.

La figura de color rojo, según la base de datos del software se tiene gran cantidad de óxido de hierro, el cual fue incorporado a la diatomea cómo óxido adicional. Adicional tenemos seguido otros picos relevantes, el primero que sigue manteniendo proporción de Cuarzo y en el segundo se puede ver una elevada cantidad de Portlandita, que es el hidróxido de calcio el cual se espera haya sido formado por la reacción que se dio al incorporar el óxido de Calcio en la mezcla inicial.

Luego de estos picos, se pueden evidenciar picos más pequeños que muestran cantidades de óxidos de hierro.

- Mezcla de diatomea calcinada con óxidos mecánicamente

Figura 11 DRX Diatomea calcinada con óxidos



Fuente: Profex 3.0

Este difractograma es muy similar al anterior ya que se destacan tres picos que a continuación daremos explicación de la composición que tienen mayor intensidad en el ensayo.

La figura de color azul, según la base de datos del software se tiene gran cantidad de óxido de hierro, el cual fue incorporado a la diatomea como óxido adicional.

Se tiene, seguido a esto otros picos relevantes, el primero muestra grandes cantidades de Calcita, según el análisis realizado la diatomea tiene químicamente proporciones de materia orgánica que al ser sometidas al proceso de calcinación tienen procesos de combustión y cómo al agregar óxido de calcio a la muestra se genera un hidróxido de calcio, estos dos compuestos generan la Calcita.

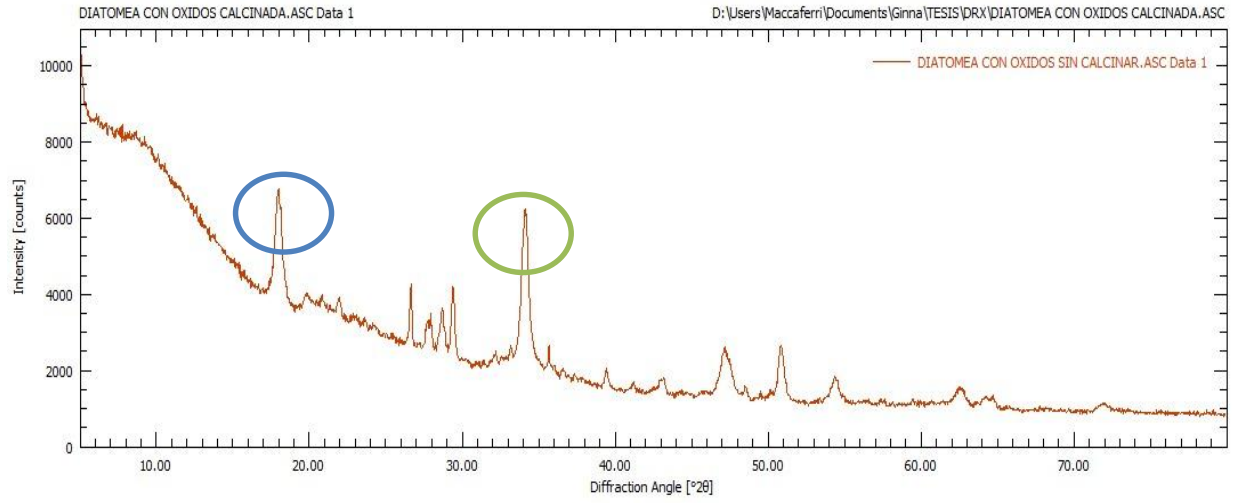


El segundo pico, encerrado por la figura de color verde se puede ver una elevada cantidad de Portlandita, que es el hidróxido de calcio el cual se espera haya sido formado por la reacción que se dio al incorporar el óxido de Calcio en la mezcla inicial.

Luego de estos picos, se pueden evidenciar picos más pequeños que muestran cantidades de óxidos de hierro.

- Mezcla de Diatomea con óxidos sin el proceso de calcinación.

Figura 12 Diatomea con óxidos sin calcinar



Fuente: Profex 3.0

Este difractograma también comparte varios picos ya vistos en los anteriores resultados.

Se destacan dos picos que a continuación daremos explicación de la composición que tienen mayor intensidad en el ensayo.

La figura de color azul, según la base de datos del software se tiene gran cantidad de óxido de hierro, el cual fue incorporado a la diatomea como óxido adicional.

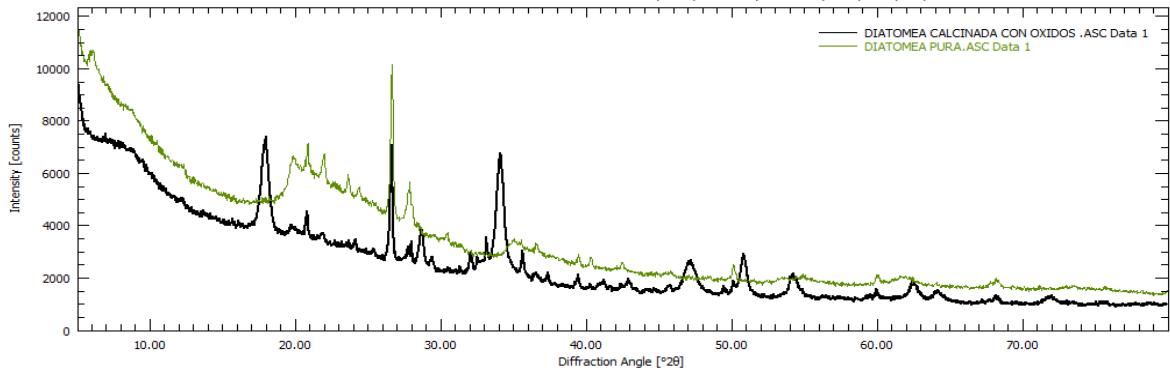
El segundo pico, encerrado por la figura de color verde se puede ver una elevada cantidad de Portlandita, que es el hidróxido de calcio el cual se espera haya sido formado por la reacción que se dio al incorporar el óxido de Calcio en la mezcla inicial.

Luego de estos picos, se pueden evidenciar picos más pequeños que muestran cantidades de óxidos de hierro.

Si se realiza una comparación entre las diferentes mezclas realizadas se puede analizar lo siguiente:

- Diatomea calcinada seguida de una mezcla con Óxidos y Diatomea Pura:

Figura 13 DRX de muestras de Diatomea Calcinada con Óxidos VS Diatomea Pura



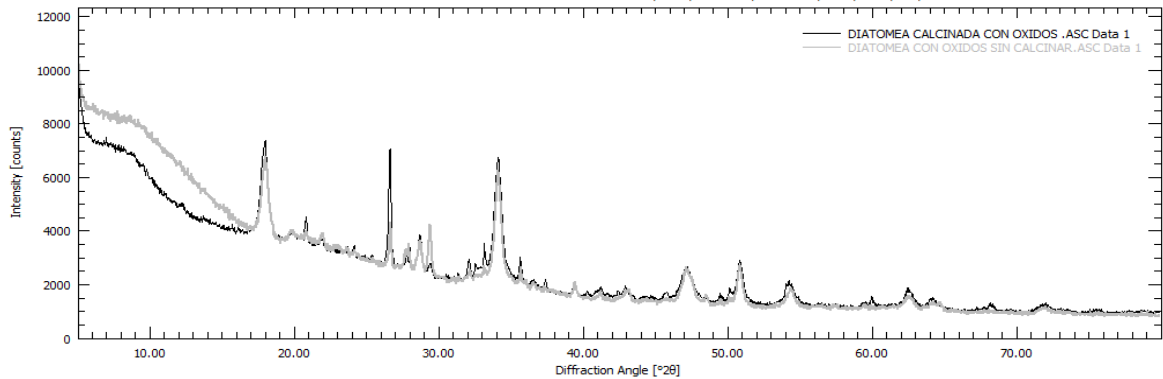
Fuente: Profex 3.0

Según los análisis realizados anteriormente se puede concluir de la Figura 13 lo siguiente:

La diatomea es un suelo que de por si contiene grandes contenidos de humedad y el proceso de calcinación elimina gran parte de la misma y entre otros minerales que se logra ver en la primera desviación que tienen los difractogramas. Adicional se forma el primer pico (color negro) correspondiente a la diatomea calcinada, en el que anteriormente se había mencionado la incorporación de óxido de hierro a la muestra, adicional se ve una disminución en la cantidad de cuarzo el cual es el reflejo del segundo pico y para el tercer pico de color negro, el cual no tiene la muestra de diatomea pura es la formación de la Portlandita, que es la reacción que se espera haya tenido el óxido de calcio dentro de la muestra formando hidróxidos de calcio.

- Diatomea calcinada seguida de una mezcla con Óxidos y Diatomea seguida de una mezcla de óxidos sin calcinar.

Figura 14 DRX de muestras de Diatomea Calcinada con Óxidos VS Diatomea mezcla con óxidos sin calcinar.

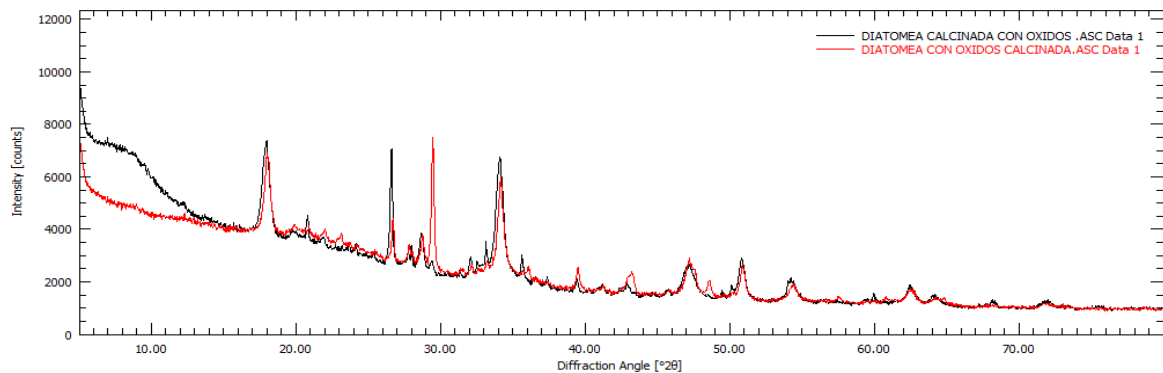


Fuente: Profex 3.0

Para este difractograma se quiere mostrar la diferencia entre la muestra calcinada y la muestra sin calcinar, ya que en el ensayo no tiene grandes variaciones en general. En el inicio cómo se aclaraba anteriormente la diatomea es un suelo que de por si contiene grandes contenidos de humedad y el proceso de calcinación elimina gran parte de la misma y entre otros minerales que se logra ver en la primera desviación, a partir de allí los picos tienden a tener la misma intensidad y los mismos componentes.

- Diatomea calcinada seguida de una mezcla con Óxidos y Diatomea seguida de una mezcla de óxidos y luego calcinada:

Figura 15 DRX de Diatomea calcinada seguida de una mezcla con Óxidos y Diatomea seguida de una mezcla de óxidos y luego calcinada.



Fuente: Profex 3.0

En estos difractogramas hay dos picos que logran ser importantes en el ensayo. El primer pico según el análisis anterior representa las grandes cantidades de Cuarzo que la diatomea tiene en su composición química, se puede identificar que la Diatomea con óxidos seguida de un proceso de calcinación pierde gran cantidad de cuarzo es decir de Oxido de Silicio mientras que la Diatomea calcinada previamente mantiene en un porcentaje este contenido de Cuarzo.

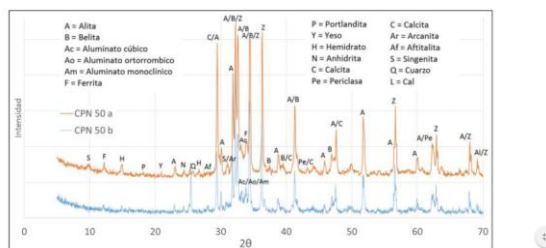
Adicional se evidencia un segundo pico que sólo lo tiene la muestra de Diatomea con óxidos calcinada, en la cual según el software son grandes cantidades de Calcita. Según el análisis realizado la diatomea tiene químicamente proporciones de materia orgánica que al ser sometidas al proceso de calcinación tienen procesos de combustión y cómo al agregar óxido de calcio a la muestra se genera un hidróxido de calcio, estos dos compuestos generan la Calcita y este pico es generado en esta muestra ya que todos los componentes son llevados a proceso de calcinación al mismo tiempo, mientras que con la muestra que tiene el difractograma de color negro, se realiza primero proceso de calcinación y luego se adicionan los óxidos correspondientes entonces no hay alguna reacción con materia orgánica que sufre combustión por las grandes olas de calor presentadas.

Finalizando con esta caracterización química se realiza una comparación del material elegido para la investigación con resultados de DRX realizados para el cemento en investigaciones previas

Según la investigación de Santillán , Y.A. Villagrán Zaccardi (L.R. Santillán, 2016), dentro del análisis sobre el difractograma de la se comparan los minerales de 2 cementos distintos, como se puede notar dentro de los minutos 30 a 40 se presentan picos altos indicando alto contenido de Calcio y Belita.

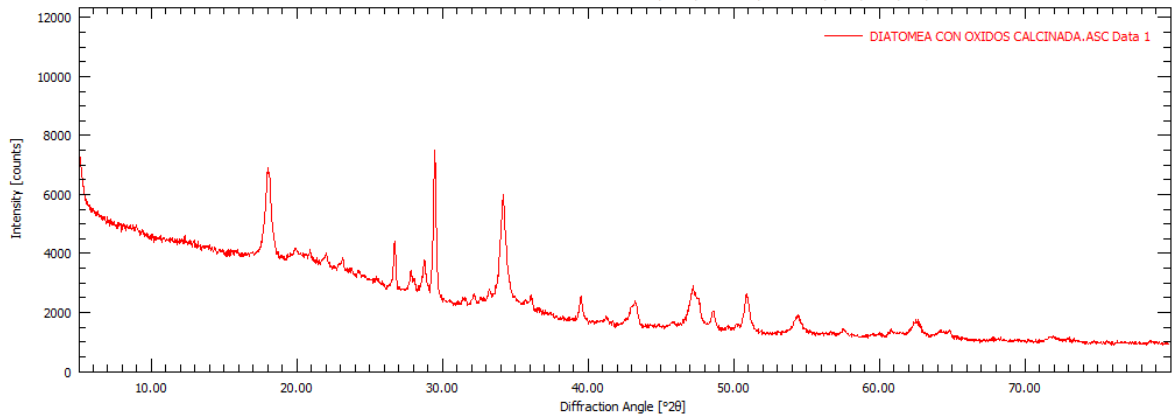
La variación entre las fases principales es un poco menor para la suma de silicatos de calcio. Se observa por ejemplo una sobreestimación general de los SO₃, presentes mayoritariamente en las fases de sulfato de calcio, difíciles de refinar por su tendencia a la orientación preferencial.

Figura 16 Difractogramas de cementos normales, picos característicos.



Fuente: (L.R. Santillán, 2016)

Figura 17 Difractograma de Diatomea con Óxidos Calcinada



Fuente: Profex 3.0

Según la Figura 16 y **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se logran ver varios picos representativos de los cuales se rescatan los grandes contenidos de Portlandita en ambos casos lo cual es la formación del hidróxido de calcio en la muestra y adicional altas cantidades de Calcita. Adicional se ve la formación de otros minerales en menores cantidades óxido de hierro, pero una gran presencia de Sulfatos de calcio.

10.2.2. Arena y grava

Utilizamos la siguiente granulometría de los agregados finos y gruesos, para la elaboración de los especímenes de concreto.

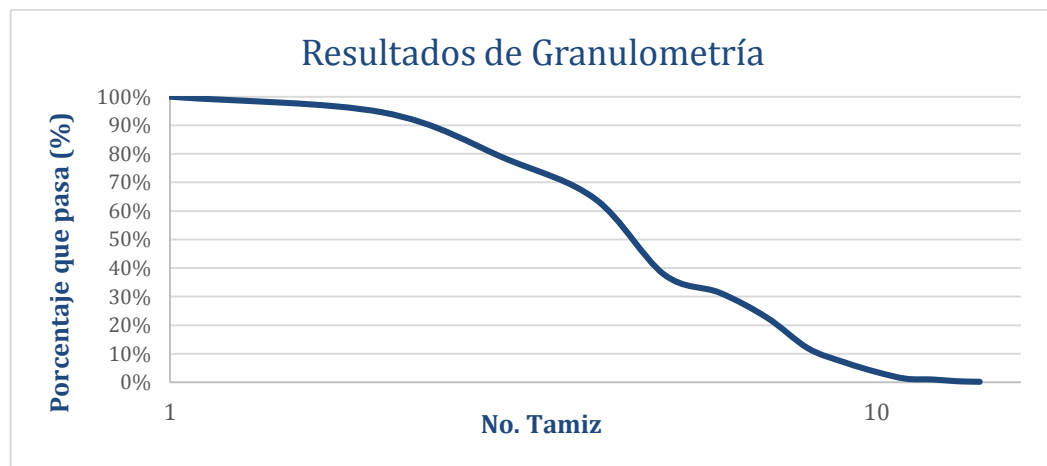
Tabla 1 Resultados de Ensayo de Granulometría

Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	Peso
1"	0	0%	0%	100%	0%
3/4"	257,03	5,52%	5,52%	94,48%	94,48%
1/2"	763,69	16,40%	21,92%	78,08%	
3/8"	648,93	13,94%	35,86%	64,14%	64,14%
# 4	1225,93	26,34%	62,20%	37,80%	37,80%
# 8	300,43	6,45%	68,65%	31,35%	31,35%
# 16	406,27	8,73%	77,38%	22,62%	22,62%
# 30	499,09	10,72%	88,10%	11,90%	11,90%
# 40	226,98	4,87%	92,97%	7,03%	
# 50	159,04	3,42%	96,39%	3,61%	3,61%

Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	Peso
# 80	108,95	2,34%	97,66%	1,27%	1,27%
# 100	13,31	0,28%	96,65%	0,99%	0,99%
# 200	28,31	0,61%	99,03%	0,38%	
Fondo	9,27	0,20%	99,21%	0,18%	
Σ	4647,23	-	-	-	-

Fuente: Autores

Figura 18 Resultados de granulometría



Fuente: Autores

De la Tabla 1 se puede definir que el 62,20% del material es agregado grueso dado que se retiene del tamiz No.4 al tamiz 1" y que el 37,62% del material utilizado en la granulometría es agregado fino dado que se retiene desde el tamiz No. 8 al fondo.

Las partículas del agregado grueso son retenidas en su mayoría en el tamiz No. 4 con un porcentaje de 26,34% del material y 1225,93g, mientras que el agregado fino en su mayoría fue retenido en el tamiz No. 30 con un porcentaje de 10,72% y un peso de 499,09 g.

Para la selección de la dosificación se realizó la mezcla únicamente con los agregados finos y para los ensayos de resistencia de los especímenes se usó agregados gruesos y finos para aumentar la resistencia de los mismos

10.2.3. Arena de guamo

La arena del Guamo proviene del periodo Cuaternario, su formación es procedente de los abanicos del Guamo los cuales son depósitos de arenas puzolánicas de

origen volcánico. Adicionalmente, se ha encontrado que el aumento en la angularidad de las partículas, conduce a un aumento en la relación de vacíos tanto mínima como máxima, un decremento en la rigidez y un incremento en el ángulo de fricción del estado crítico. (JOHANNA ACERO, 2015)

10.2.4. Óxidos

Después de realizar la investigación de las propiedades del cemento, se analiza la composición química del mismo llegando así a la conclusión de que para generar el material cementante era necesario generar una reacción química con los mismos compuestos del CP en proporciones diferentes. Para esto se usaron los siguientes óxidos:

- ✓ Óxido de Magnesio (MgO): El óxido de magnesio es una sustancia compuesta formada por un enlace iónico entre el catión magnesio y el anión óxido. Se obtiene por la quema de cinta de magnesio, que se oxida con una brillante luz blanca, lo que resulta en un polvo. (Ponjuan. A., 1979)
- ✓ Óxido de Hierro III (Fe₂O₃): Es conocido como hematita en su estado natural, debido a la variedad de colores (azul, verde y violeta), este puede ser utilizado para la obtención de pigmentos marrones o rojizos, los cuales son utilizados en la industria de las pinturas. (QuimiNet, 2011)
- ✓ Óxido de Calcio (CaO): Es un compuesto inorgánico que contiene calcio y oxígeno en formas iónicas. Mundialmente se le conoce como cal, palabra que designa a todo compuesto inorgánico que contiene carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio, además de otros metales tales como silicio, aluminio y hierro. (Bolívar, 2016)
- ✓ Óxido de Silicio (SiO₂): El dióxido de silicio o sílice es uno de los componentes más importantes de la arena, por ende, del CP (Technology, 2011)

10.3. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

Para realizar las dosificaciones de Mezcla tanto del concreto como del cemento, se ha propuesto realizar primero el diseño de la composición química de la Diatomea semejante a la del Cemento Portland, creando así un material con la misma composición química esperando que este material tenga un comportamiento similar por sus condiciones químicas. Esto con base en estudios referenciados en el Capítulo 6.1, donde la activación alcalina permite obtener materiales con buen comportamiento cementante (Lopez, 2015).

A continuación, presentamos el diseño de la composición química.

10.3.1. DISEÑO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL CEMENTANTE

Para realizar el diseño de la composición química del material cementante a partir de Suelo Diatomáceo, inicialmente se ha realizado la investigación de la composición química del Cemento y de la Diatomea

Tabla 2 Composición Química del Cemento (Ceccato, Masuero, Moraes, & Vilela, 2009) y Composición Química de la Diatomea (Eco y Ambiente, 2015)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DIATOMEAS	%	COMPOSICIÓN QUÍMICA CEMENTO	%
SiO ₂	58,2	SiO ₂	20
Fe ₂ O ₃	0	Fe ₂ O ₃	2,5
Na ₂ O	0	Na ₂ O	0,2
TiO ₂	0	TiO ₂	0,2
P ₂ O ₅	0,14	P ₂ O ₅	0,2
Al ₂ O ₃	20	Al ₂ O ₃	4,3
K ₂ O	0,36	K ₂ O	0,8
MgO	0,12	MgO	1,4
CaO	0,22	CaO	65
HIERRO *	1,41		
SODIO (Na) *	0,11		
L.O.I.	21	L.O.I.	5,9

Fuente: Autores

Estas composiciones son para una muestra de 100gr.

De acuerdo a la Tabla 2 se puede inferir que la diatomea está conformada por un alto contenido de Sílice y Aluminio, con porcentaje total dentro del 70% al 80%.

Debido a lo anteriormente expresado, es posible afirmar que el material escogido cumple con lo especificado por la norma ASTM C618 para materiales de adición de carácter puzolánico, la cual especifica que la sumatoria de los óxidos SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ debe ser igual o superior al 70%. Este tipo de puzolanas son objeto de estudio hasta la actualidad y se incluyen dentro de la clasificación de puzolanas naturales (tipo N) en dicha norma. (Lopez, 2015)

De acuerdo a las composiciones se realizó el diseño agregando al material precursor elegido los Óxidos faltantes que el CP posee en su composición. Podemos inferir de la que éste último tiene grandes cantidades de Oxido de Calcio entre un 65% aproximadamente mientras que la Diatomea posee solo 0.22%. Se realizó la diferencia entre óxidos que tiene la Diatomea respecto al CP.

Tabla 3 Diferencia de composición Química de la Diatomea respecto al CP

COMPOSICIÓN QUÍMICA CEMENTO 100g	100	COMPOSICIÓN QUÍMICA DIATOMEAS 100g	100	DIFERENCIA DE ÓXIDOS
SiO ₂	20	SiO ₂	58,20	-38,20
Fe ₂ O ₃	2,5	Fe ₂ O ₃	0,00	2,50
Na ₂ O	0,2	Na ₂ O	0,00	0,20
TiO ₂	0,2	TiO ₂	0,00	0,20
P ₂ O ₅	0,2	P ₂ O ₅	0,14	0,06
Al ₂ O ₃	4,3	Al ₂ O ₃	19,99	-15,69
K ₂ O	0,8	K ₂ O	0,36	0,44
MgO	1,4	MgO	0,12	1,28
CaO	64,5	CaO	0,22	64,28
L.O.I.	5,9	L.O.I.	20,97	-15,07
TOTAL	100	TOTAL	100	0,00

Fuente: Autores

Al realizar este proceso, se puede inferir de la

Tabla 3 que la Diatomea por pertenecer al grupo de los Aluminosilicatos contiene gran contenido de SiO₂ respecto al cemento y así mismo requiere una gran cantidad de CaO. Para que la Diatomea llegue a tener en su composición química 64.28% de CaO, se requiere hacer iteraciones que nos permitan calcular exactamente cuánto material se debe agregar a los 100gr que se tienen inicialmente.

Tabla 4 Diatomea + Oxido

COMPOSICIÓN QUIMICA DIATOMEA + OXIDO	100	COMPOSICION QUIMICA DIATOMEAS +OXIDO EN %	100
SiO ₂	58,20	SiO ₂	17,73
Fe ₂ O ₃	8,19	Fe ₂ O ₃	2,50
Na ₂ O	0,65	Na ₂ O	0,20
TiO ₂	0,65	TiO ₂	0,20
P ₂ O ₅	0,65	P ₂ O ₅	0,20
Al ₂ O ₃	19,99	Al ₂ O ₃	6,09
K ₂ O	2,63	K ₂ O	0,80
MgO	4,58	MgO	1,40
CaO	211,70	CaO	64,50
L.O.I.	20,97	L.O.I.	6,39
TOTAL	328	TOTAL	100

Fuente: Autores

Para poder llegar al porcentaje de 64,5% que es el necesario para alcanzar la composición química similar a la del CP, el cálculo se realizó por 211.70gr por cada 100gr de Diatomea, y así mismo con los demás óxidos, pero en menores cantidades.

Se generó químicamente un material semejante al CP y teniendo en cuenta esta primicia se realizaron los diseños de mezcla respectivos para Morteros y Concretos.

10.3.2. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS

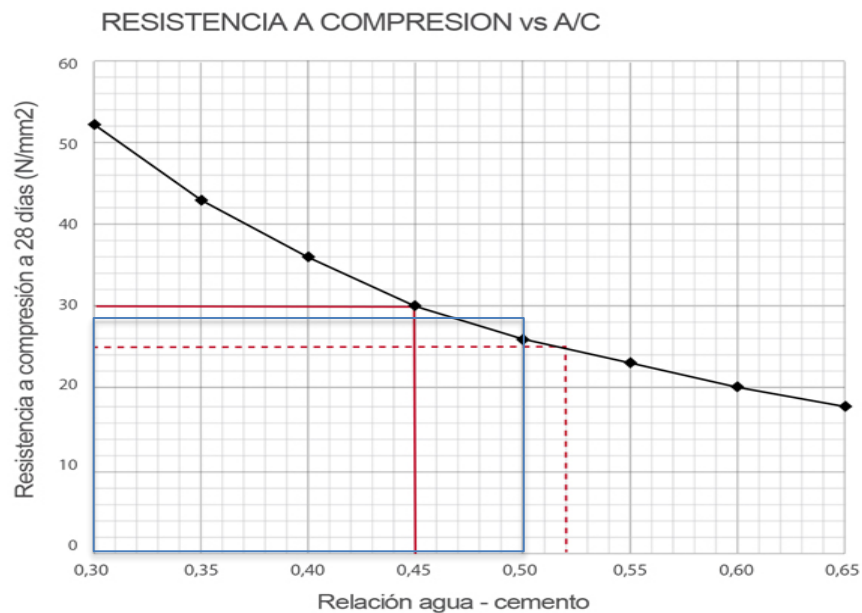
De acuerdo a esta composición química calculada anteriormente, se desarrolla un diseño de mezcla, generado a partir del CP utilizado en el común.

Se realiza el diseño para un Concreto que su resistencia sea 28 MPa con una relación de agua cemento de 0,5. Seguido a esto se calculan las cantidades de los materiales agregados según su densidad y se tienen las cantidades relacionadas en la Tabla 5 Diseño de mezcla en Kg para 1 m³ de Concreto.

Para la determinación de la relación agua cemento, se investiga y entre varias fuentes se encuentra la Figura de a continuación, la cual relaciona las Resistencias

alcanzadas por el concreto a 28 días en MPa VS la relación agua cemento que debe utilizarse

Figura 19 Relación agua cemento relacionada con la Resistencia del concreto a compresión a 28 días en MPa



Fuente: (Davidovits, 2017)

Éste diseño está basado en la composición química del cemento y por tratarse del empleo de geo polímeros no se realizan ensayos físicos al material. Esto ya que “Los geopolímeros tienen un elevado potencial para ser usados en numerosos campos, pero predomina el uso como sustitutos de cementos portland, campo hacia el que se ha dirigido la mayor parte de la investigación. Los geopolímeros tienen la ventaja de tener bajas emisiones de CO₂ en su producción, una gran resistencia química y térmica, y buenas propiedades mecánicas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas.” (Davidovits, 2017)

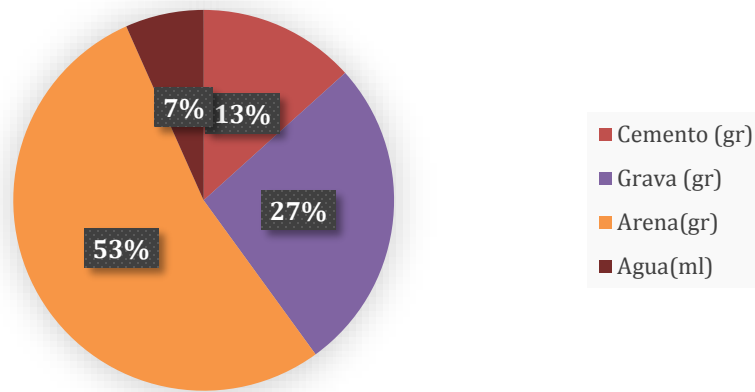
Tabla 5 Diseño de mezcla en Kg para 1 m³ de Concreto

Diseño de Mezcla para 1m ³ de Concreto			
Cemento (Kg)	Grava (Kg)	Arena(Kg)	Agua(It)
341,88	683,76	1367,52	170,94

Fuente: Autores

Figura 20 Porcentajes de diseño de mezcla para 1 m3 de Concreto generado a partir de CP.

Porcentaje de Diseño de Mezcla para 1 m3 de Concreto



Fuente: Autores

10.3.3. DISEÑO DE MEZCLA PARA MORTEROS

Para el diseño de mezcla de los morteros se analiza la información de los materiales a usar en 1 m³ de mezcla. Características como: Peso volumétrico seco denso, gravedad específica, el porcentaje de Absorción y cuál es la relación agua cemento que se quiere utilizar.

Para comenzar se calcula el total del Volumen de lechada, el cual se determina sumando los volúmenes de agua y cemento. Seguido a esto es necesario considerar que se trabajará el diseño para 1 metro cúbico.

Para poder determinar la cantidad necesaria de Arena, es necesario tener de está la Gravedad específica y peso específico del material. Para la Arena de Guamo, que es el material utilizado en la investigación los siguientes son los datos:

Gravedad Específica: 2,51

Peso Específico: 1444 kg/m³

Absorción: 0,3%

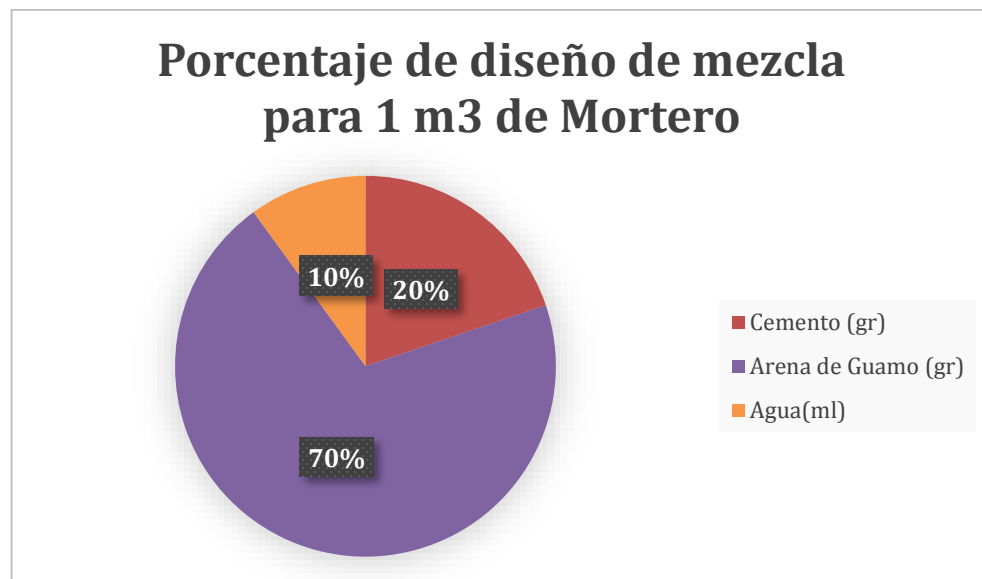
De acuerdo a estos datos, se obtienen las siguientes cantidades:

Tabla 6 Diseño de Mezcla para 1 m³ de Mortero

Diseño de Mezcla para 1m ³ de Mortero		
Cemento (Kg)	Arena de Guamo (kg)	Agua(It)
407,29	1444	205,643

Fuente: Autores

Figura 21 Porcentaje de diseño de mezcla para 1 m³ de Mortero generado a partir de CP.



Fuente: Autores

De acuerdo a la Figura 21 se puede inferir que la Arena de guamo representa la mayor cantidad de material en la mezcla con un 67%, mientras que solo necesitamos 20% para el cemento y 10% de agua.

10.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS ENSAYOS PREVIOS: CILINDROS H:10CM D:5CM

Se realizaron ensayos de prueba previos dependiendo de la manera en que se mezclaban los óxidos con la diatomea. Estos ensayos se realizaron para elegir cuál de las mezclas era la más óptima y con cual se debe trabajar para realizar la mezcla para los cilindros de H:20cm y D:10cm los cuales son los especificados en la Norma.

Los cilindros se hicieron en tubería de PVC de altura de 10cm por diámetro de 5cm. El diseño de mezcla mencionado anteriormente es para los cilindros a fallar en la finalidad de la investigación, el cuál maneja un volumen para una altura de 20cm y un diámetro de 10cm, con las cantidades de material relacionadas anteriormente.

De acuerdo con estas cantidades, se realizó una regla de tres y las cantidades respectivas para los cilindros del ensayo de prueba fueron:

Tabla 7 Diseño de Mezcla para Cilindros H 10cm y D 5cm con relación A/C 0.5

Diseño de Mezcla Cilindros H 10cm y D 5cm			
Cemento (gr)	Grava (gr)	Arena(gr)	Agua(ml)
67,128	134,256	268,513	33,564

Fuente: Autores

Para en el ensayo prueba se realizaron 3 cilindros con diferentes mezclas: Mecánicamente, Mortero y calcinación de Diatomeas y Óxidos.

- Mezcla Mecánica: Se hace mezcla de las diatomeas y los óxidos sin ocasionar una reacción química. Cada uno de los componentes mantendrán sus características físicas y químicas.
- Mezcla Mortero: La mezcla en este caso se hace apisonando cada uno de los componentes que componen el material para poder generar una correcta incorporación del material.
- Mezcla de Calcinación: Previo a la calcinación del material, se realizó una mezcla mecánica, seguido a esto se realizó un calentamiento del material a 400°C durante 6 horas y crear una reacción química en los componentes.

Esto fue realizado con el fin de saber que mezcla seria elegida de tal manera que éste garantizara que los óxidos se mezclarán de forma homogénea en la Diatomea.

Figura 22 Tamizado final de granulometría



Fuente: Autores

10.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA

1. Mezcla Mortero de Diatomea Natural con los Óxidos.
2. Mezcla Mortero de Diatomea Natural con los Oxido. Seguido a esto, calcinamos la muestra aproximadamente a 400° durante 6 hr.
3. Calcinación del material precursor elegido, seguido a esto se agregaron los óxidos en mezcla mecánica.
4. Mezcla de material con agregados.

Figura 23 Procedimiento para realizar Cilindros de H 10cm y D 5cm



Fuente: Autores

La Tabla 5 indica cómo se realizaron las mezclas en cada uno de los cilindros y así lograr una comparación entre éstas y poder elegir la mejor en el ensayo de Resistencia a la Compresión. Seguido a las mezclas del material precursor con los óxidos se agrega el agua necesaria para cada cilindro. Las cantidades están relacionadas en el siguiente cuadro:

Tabla 8 Cantidades utilizadas para Ensayos Para Cilindros

Diseño de Mezcla Cilindros H 10cm y D 5cm			
Cemento (gr)	Grava (gr)	Arena(gr)	Agua(ml)
67,128	134,256	268,513	33,564

Fuente: Autores

Para estos cilindros era necesario agregar a la Diatomea las siguientes cantidades de Oxidos según el análisis realizado anteriormente:

Tabla 9 Cantidades de Óxidos utilizados para Cilindros de H 10cm y D 5cm para 91.66gr de Diatomea

OXIDOS REQUERIDOS (gr)	
SiO ₂	16,25
Fe ₂ O ₃	2,29
Na ₂ O	0,18
TiO ₂	0,18
P ₂ O ₅	0,18
Al ₂ O ₃	5,58
K ₂ O	0,73
MgO	1,28
CaO	59,12

Fuente: Autores

Se realizó el montaje de los tres cilindros y se desencofraron a los 2 días después.

Estos cilindros fueron realizados con el objetivo de verificar cual mezcla era la más apropiada respecto a la resistencia que se generaran en los resultados al momento de someterlos a compresión.

Figura 24 Cilindros con respectivas muestras



Fuente: Autores

A los 7 días se sometieron los cilindros a compresión en una maquina Universal, los cuales generaron los resultados asociados en la tabla a continuación:

Tabla 10 Resistencia de Cilindros dependiendo de la Mezcla utilizada entre Diatomea y Óxidos

Tipo de Mezcla realizada	Carga Soportada (kN) / Resistencia (MPa)
Mezcla de Diatomea natural + Óxidos con mortero	0,751 kN / 0,38 MPa
Mezcla de Diatomea natural + Óxidos seguido de proceso de calcinación.	1,266 kN / 0,61 MPa
Mezcla de Diatomea calcinada + Óxidos mezcla mecánica	0,284 kN / 0,14 MPa

Fuente: Autores

Figura 25 Cilindros fallados a compresión



Fuente: Autores

10.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS ENSAYOS FINAL

De acuerdo a los ensayos previos y a sus resultados. Se analizaron variables como: espacios brindados en la Institución y la gran cantidad de material a mezclar para realizar cilindros y vigas.

Por esta razón la mezcla elegida fue **Mezcla de Diatomea natural + Óxidos con mortero**. Aunque no fue la mezcla que arrojó el mejor resultado, la cantidad de material que se va a mezclar es bastante para ser calcinada y la institución no cuenta con hornos que puedan llevar a altas temperaturas grandes volúmenes de material.

10.5.1. CILINDROS H:20CM D:10CM

Se realizaron 6 cilindros en Concreto convencional, 3 cilindros con material cementante a partir de suelo diatomáceo con relación a/c 0.5 y 3 cilindros más variando la relación a/c a 0.75. Cada uno de los cilindros para ser fallados a los 7,14 y 28 días respectivamente

Los cilindros se realizaron con las siguientes cantidades, tanto para el material precursor elegido como para el cemento generado a partir de Cemento Portland.

Tabla 11 Cantidades utilizadas para cilindros con relación a/c 0.5

Diseño de Mezcla Cilindros H 20cm y D 10cm			
Cemento (gr)	Grava (gr)	Arena(gr)	Agua(ml)
537,025	1074,050	2148,100	268,513

Fuente: Autores

Inicialmente se realizaron unas muestras con las cantidades referenciadas en la Tabla 11 Cantidades utilizadas para cilindros Al ver que unos cilindros quedaron con muchos vacíos se agregó mayor cantidad de agua la cual se relaciona en la siguiente Tabla.

Tabla 12 Cantidades de material para Cilindros con relación a/c 0,75.

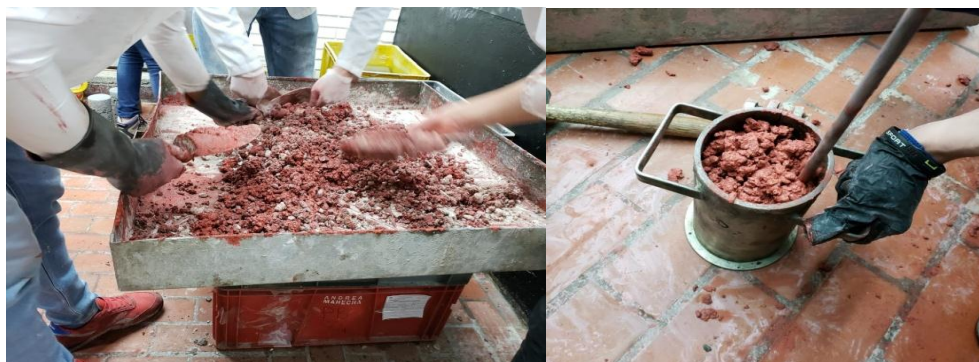
Diseño de Mezcla Cilindros H 20cm y D 10cm			
Cemento (gr)	Grava (gr)	Arena(gr)	Agua(ml)
500,250	1074,050	2148,100	380,120

Fuente: Autores

Se realizó el siguiente procedimiento para el montaje de Cilindros:

- Se realiza la mezcla manual en la bandeja humedecida de los materiales de tal forma que quede una mezcla homogénea. Seguido a esto se llenan los cilindros en 3 capas, por cada capa se dan 25 golpes con la varilla y alrededor del cilindro con la maceta se pegan golpes hasta que el agua suba al inicio de la mezcla. Al finalizar las tres capas, la última capa se enraza de manera que el cilindro quede liso.

Figura 26 Procedimiento para realizar las probetas de ensayo. Cilindros H 20cm y D 10cm





Fuente: Autores

10.5.2. VIGAS H:15CM L:52CM

Para las vigas, fueron realizadas 1 muestra para 3 vigas las cuales fueron falladas a 7,14 y 28 días respectivamente. Las vigas se realizaron con las siguientes cantidades:

Tabla 13 Cantidades para Vigas

Diseño de Mezcla Vigas L 52 cm y H 15 cm			
Cemento (Kg)	Grava (Kg)	Arena(Kg)	Agua(Lt)
4,000	8,000	16,000	2,000

Fuente: Autores

Se realizó el siguiente procedimiento para el montaje de las Vigas:

- Mezcla del material en la Mezcladora Mecánica de Concreto de forma homogénea. Verter la mezcla en una bandeja previamente humedecida. El llenado de los moldes de vigas se realiza en 3 capas. En cada capa se realizan 75 golpes con la varilla y 50 golpes alrededor del molde hasta que suba el agua. Al finalizar las tres capas, la última capa se enraza de manera que la viga quede lisa.

.Figura 27 Procedimiento para realizar vigas.



Fuente: Autores

10.5.3. CUBOS DE MORTEROS:50mm X 50mm

La cantidad de cubos realizadas fueron en total 6 unidades, de los cuales 3 cubos fueron curados a temperatura ambiente, 3 cubos fueron curados al horno y 3 en agua. Fueron fallados a 7,14 y 28 días respectivamente. (Los resultados son desarrollados más adelante). Los cubos de mortero se realizaron con las siguientes cantidades:

Tabla 14 Cantidades para Cubos de Mortero

Diseño de Mezcla para 1m ³ de Mortero		
Cemento (gr)	Arena de Guamo (gr)	Agua(ml)
50,91	180,50	25,71

Fuente: Autores

Se realizó el siguiente procedimiento para el montaje de los Morteros:

Se mezcla del material manualmente de forma mecánica en forma Homogénea. Llenar los cubos de Mortero con dos capas y realizar los golpes hasta que suba el Agua. Al finalizar las dos capas, la última capa se enraza de manera que el mortero quede liso.

Figura 28 Procedimiento para realizar cubos de mortero 50mmx 50mm.



Fuente: Autores

11.RESULTADOS Y ANÁLISIS

11.1. ENSAYOS PREVIOS:

La información que se obtuvo a partir de los ensayos previos de los cilindros de altura 10cm y diámetro 5cm lo cual permitió elegir la mezcla más adecuada para poder realizar los demás especímenes. A continuación, se observan los resultados a compresión los cuales fueron ensayados en la máquina universal.

Figura 29 Ensayo de Compresión de Cilindros Ensayos Previos



Fuente: Autores

Tabla 15 Resultados de ensayo de Resistencia a la Compresión Ensayos Previos Según el tipo de Mezcla

CILINDROS A COMPRESIÓN A/C 0.50 SEGÚN LA MEZCLA					
Geometría			Tipo de Mezcla	Carga Soportada	Resistencia
H	10	cm	Mezcla de Diatomea natural + Oxidos con	0,751 kN	0,382 MPa
D	5	cm	Mezcla de Diatomea natural + Oxidos seguido de proceso de	1,266 kN	0,645 MPa
Area	19,64	cm ²	Mezcla de Diatomea calcinada + Oxidos mezcla mecánica	0,284 kN	0,145 MPa

Fuente: Autores

De acuerdo a estos resultados, se puede concluir que,

- La Mezcla que mejor resistencia arroja es la Diatomea Natural mezclada con óxidos con mortero seguido de proceso de calcinación.
- La mezcla de Diatomea calcinada previamente seguida de agregar óxidos con mezcla mecánica fue el resultado más bajo entre los tres tipos de mezcla.

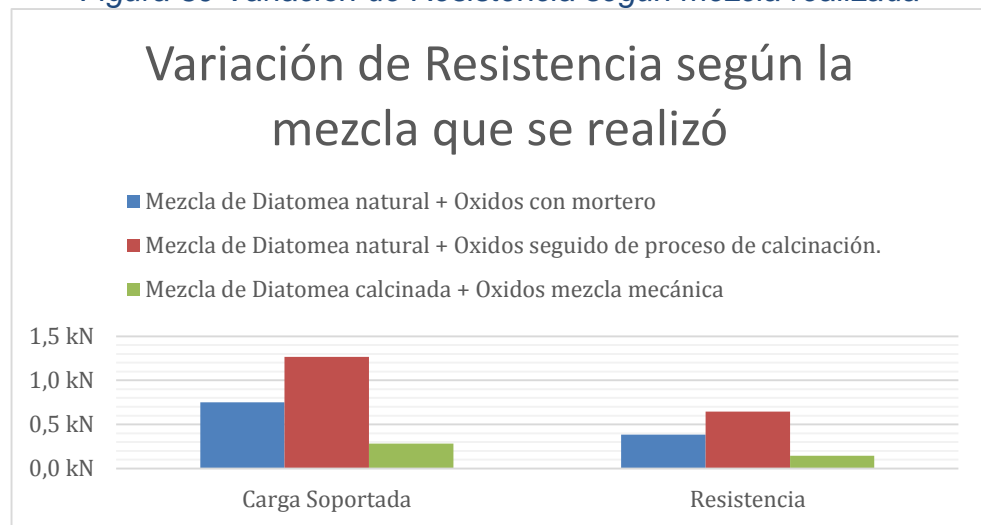
- La mezcla con mayor resistencia se aumenta en un 50% respecto a la mezcla de Diatomea Natural con óxidos con mortero.

Haciendo un análisis de estos resultados se puede concluir que la mezcla en calor tuvo una mejor incorporación de los elementos que la componen. Esto se debe a que cuando los elementos se unen por contacto térmico hay un intercambio de calor hasta que todos sus elementos igualen las energías internas y así se forme un equilibrio térmico.

La mezcla fue calentada a 400°C por 6 horas, una temperatura que hace que la mezcla pueda perder masa, pero genera una combinación de los elementos más homogénea por el principio de Equilibrio térmico.” Es el estado en el que se igualan las temperaturas de dos cuerpos que inicialmente tenían diferentes temperaturas. Al igualarse las temperaturas se suspende el flujo de calor, y el sistema formados por esos cuerpos llega a su equilibrio térmico .” (Polania, 2015)

En la Figura 30 se puede revisar la variación de resistencia al ensayo de compresión que se realizó a los cilindros variando el tipo de mezcla usado.

Figura 30 Variación de Resistencia según mezcla realizada



Fuente: Autores

Según estos resultados de la Tabla 15 la mejor mezcla a escoger sería la mezcla de Diatomea Natural con óxidos en mortero y seguido de una calcinación ya que arrojó los mejores resultados respecto a Resistencia Mecánica. Pero por la cantidad de

material de la mezcla y el horno que tiene la Institución contempla volúmenes muy mínimos donde tomaría bastante tiempo calcinar todo el material.

Por estas razones la mezcla elegida para el resto de los especímenes fue la Diatomea Natural con los óxidos incorporados con mortero.

11.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS ESPECIMENES FINALES:

Los ensayos de compresión de cilindros fueron realizados según la Norma Invias 410-13. Los especímenes fueron realizados el día 15 de Septiembre y fueron fallados a 7, 14 y 28 días. Fueron fallados los días 22 de septiembre, 29 de septiembre y 13 de octubre.

Figura 31 Muestra de Concreto generado a partir de suelo diatomáceo para 7 días



Fuente: Autores

Se tomaron medidas de los cilindros, cómo el largo y el diámetro del mismo. Esto con el fin de encontrar el área transversal promedio de los especímenes y así hallar el esfuerzo generado en el material creado a partir de las Diatomeas. Estos datos se pueden encontrar en Anexos.

Figura 32 Toma de medidas cómo el largo, diámetro y peso del espécimen



Fuente: Autores

Figura 33 Ensayo a compresión del cilindro de concreto generado a partir de suelo diatomáceo para los 7 días de Fraguado con relación a/c 0.5 (Lado izquierdo), Ensayo a compresión del cilindro de concreto generado a partir de CP para los 7 días de Fraguado con relación a/c 0.5 (Lado derecho)



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos fueron resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 16 Resultados de ensayo de Compresión de Cilindros Especímenes Finales

CILINDROS A COMPRESIÓN			CONVENCIONAL		DIATOMEA A/C 0.5		DIATOMEA A/C 0.75		
Geometría			Tiempo de Fraguado	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia
H	20	cm	Muestra 7 días	104,9 kN	13,356 MPa	17,7 kN	2,247 MPa	15,4 kN	1,965 MPa
D	10	cm	Muestra 14 días	139,9 kN	17,813 MPa	35,4 kN	4,511 MPa	31,4 kN	4,002 MPa
Area	78,54	cm ²	Muestra a 28 días	200,0 kN	25,465 MPa	64,3 kN	8,189 MPa	54,4 kN	6,921 MPa

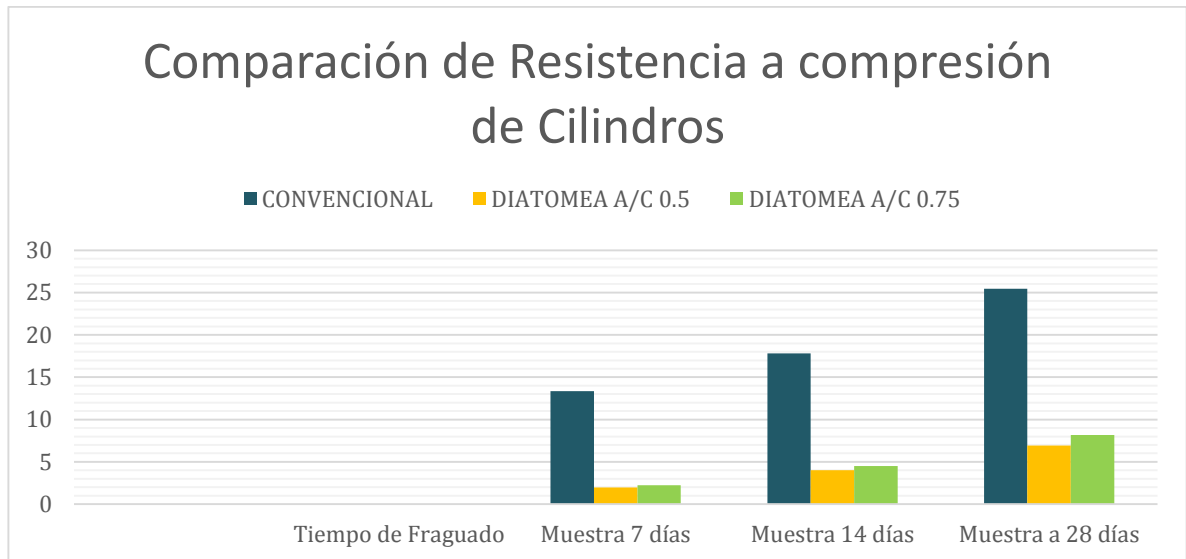
Fuente: Autores

En la Tabla 16 se indica los resultados de la carga máxima de falla que recibieron cada uno de las muestras. Se fallaron a 7, 14 y 28 días. Se realizaron cilindros convencionales, cilindros con el material cementante generado a partir de diatomeas variando la cantidad de agua en la mezcla. De esta manera se analizaron los resultados y se hallaron los esfuerzos generados por la carga máxima.

Para hallar el esfuerzo máximo generado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Resistencia (MPa) = \frac{Q}{A}$$

Figura 34 Resultados de ensayo a compresión de cilindros de concreto generados a partir de Suelo diatomáceo comparados con el convencional generado a partir de CP



Fuente: Autores

De acuerdo a la Tabla 16 y a la Figura, se puede concluir:

- Se logró una mayor resistencia en la mezcla donde se agregó menos porcentaje de agua. Es decir, la mezcla $A/C = 0.5$ con respecto a la mezcla $A/C = 0.75$. La diferencia entre los especímenes que tienen menor relación de agua son los cilindros porosos respecto a los que tienen $a/c 0.75$ que tienen superficie lisa como se muestra en la siguiente figura:

Figura 35 Especímenes de concreto generados a partir de suelo diatomáceo variando la cantidad de agua incorporada en la mezcla.



Fuente: Autores

La relación $a/c 0.5$ en los especímenes generados a partir de suelo diatomáceo arrojaron una mayor resistencia con respecto al cilindro que tuvo la mezcla con relación $a/c 0.75$. En la “ Figura 35 Especímenes de concreto generados a partir de suelo diatomáceo variando la cantidad de agua incorporada en la mezcla “, el espécimen poroso corresponde al cilindro que tuvo en su mezcla relación $a/c 0.5$ y el espécimen con menos vacíos corresponde a la mezcla con $a/c 0.75$.

Figura 36 Falla de ensayo a compresión de Cilindros de concreto generado a partir de suelo diatomáceo (Lado izquierdo) Falla de ensayo a compresión de Cilindros de concreto generado a partir de CP (Lado derecho)



Fuente: Autores

Las resistencias alcanzadas por el concreto generado a partir de suelo diatomáceo llegan a ser un 32% de las resistencias que alcanzan el concreto generado por cemento Portland a los 28 días.

El tipo de falla presentado para los especímenes finales de concreto generados a partir de suelo diatomáceo es de falla cónica y transversal o falla total que se observa cuando las caras de la aplicación de carga se desvían de los puntos paralelos ya establecidos o ligeras desviaciones en el centro del espécimen para la aplicación de carga. (NMX-C-083-ONNCCE, 2002)

Realizando el análisis de la gráfica se puede inferir que al pasar de los días la Resistencia incrementa. En la siguiente tabla se enseñan unos valores en relación a la Resistencia que tienen los concretos según su edad realizado por la Universidad de Valencia

Tabla 17 Resistencia del Concreto a compresión según su edad.

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Fuente: (Valcuende Payá, y otros, 2007)

Según la Tabla 17, a los tres días, el concreto tendrá 40% de la resistencia que tendrá a los 28 días, a los 7 días el 65%, y así sucesivamente.

Seguidos de esto, se elaboró una tabla en la que se muestra cómo el material generado a partir de CP llega la resistencia esperada a los 28 días.

Tabla 18 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Compresión

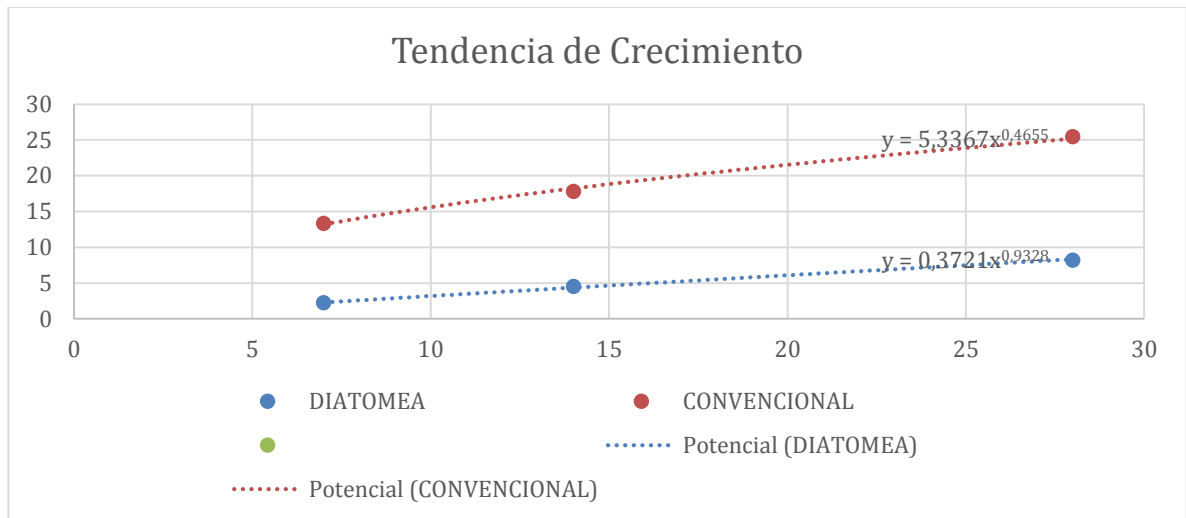
CILINDROS A COMPRESIÓN				CONVENCIONAL		
Geometría			Tiempo de Fraguado		Carga Soportada	Resistencia
H	20	cm	Muestra 7 días	0,5245	104,900 kN	13,356 MPa
D	10	cm	Muestra 14 días	0,6995	139,900 kN	17,813 MPa
Area	78,54	cm ²	Muestra a 28 días	1	200,000 kN	25,465 MPa

Fuente: Autores

Se puede inferir de la tabla los valores que están en rojo indican que los cilindros de concreto realizados a partir de CP, a los 7 días arrojaron una resistencia del 50% a la esperada en los 28 días, así como a los 14 días fue un 69%, hasta llegar a la resistencia esperada para un concreto de 3600PSI.

Para los cilindros en concreto generados a partir de suelo diatomáceo, al tener tan bajas resistencias se verifico la tasa de crecimiento para así poder verificar a cuántos días se puede obtener la resistencia esperada al inicio de esta investigación, a través de la siguiente gráfica potencial.

Figura 37 Tendencia de crecimiento del Cemento Convencional y la Diatomea para Cilindros



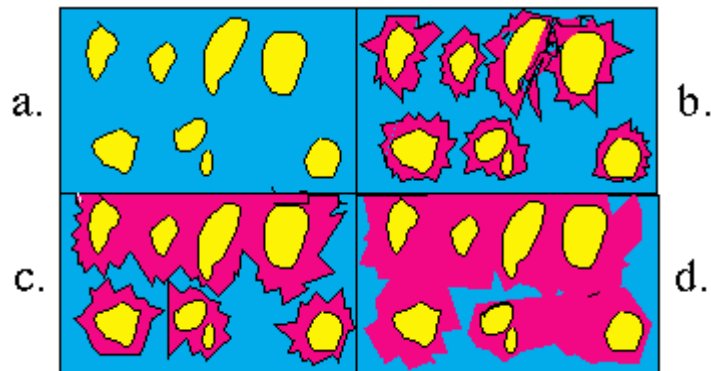
Fuente: Autores

De acuerdo a la gráfica Figura 37, se realizó el incremento en las resistencias hasta llegar a los 25MPa, lo cual es la resistencia evaluada en esta investigación para un concreto de 3600PSI se requieren 94 días con las dosificaciones desarrolladas en la investigación.

Dentro del análisis que se ha realizado, se verifica la correcta reacción entre el cemento y sus componentes. Por ejemplo, en el caso de la hidratación, el cemento como anteriormente se menciona, tiene unos compuestos los cuales se hidratan y contribuyen al producto final.

El silicato tricálcico es el más lento en reaccionar (Edu, 2016), ya que es aquel que contribuye a la resistencia en los últimos días de fraguado. Cuando se agrega agua el silicato tricálcico es capaz de reaccionar liberando iones de calcio los cuales van formando hidróxidos hasta que la mezcla queda saturada. Seguido a esto se van formando cristales de hidrato de silicato de calcio los cuales al pasar del tiempo se van volviendo más espesos y la velocidad de la reacción disminuirá, lo que hará que la producción sea más lenta.

Figura38 Schematic illustration of the pores in calcium silicate through different stages of hydration.



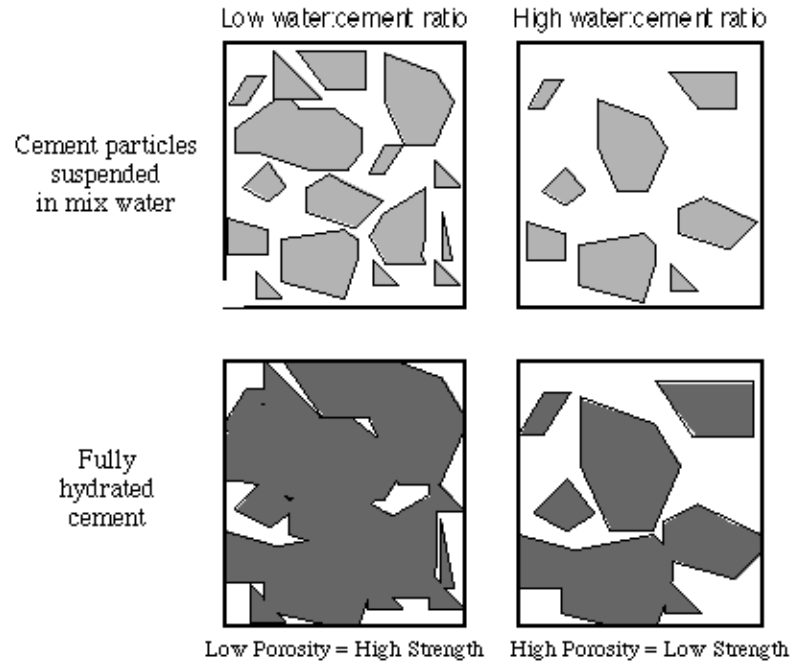
Fuente: (Edu, 2016)

Según la Figura38 Schematic illustration of the pores in calcium silicate through different stages of hydration..Se puede notar la diferencia entre las etapas de hidratación y la generación de poros mientras se produce el hidrato de silicato.

Según los resultados que obtuvimos, teniendo resistencias muchos menores a las que convencionalmente se obtienen, analizando la figura anterior podemos concluir que no hubo una formación total de hidratos de silicato de calcio, ya que no llegamos a la resistencia esperada y este es el compuesto que brinda finalmente la resistencia a los últimos días. Finalmente se puede deducir que no hubo una mezcla total de los compuestos con el agua y la mezcla quedo en etapas primarias, como la etapa (B) que describe el comienzo de la hidratación donde no hay una incorporación total de los compuestos.

Adicional a esto, se realizaron dos tipos de mezcla variando la relación agua cemento, ya que es un parámetro primordial que puede afectar la resistencia del concreto. Para una relación A/C 0.5 se esperaban resistencias de 25 MPa, pero físicamente los especímenes quedaron muy porosos, lo que genera que hayan más vacíos y no haya una plena adherencia entre toda la mezcla y su resistencia disminuya. Por esta razón se aumentó la relación A/C 0.75 sin tener en cuenta que “Algunos poros permanecerán sin importar qué tan bien se haya compactado el concreto” (Edu, 2016), pues el material que se trabajó tiene a tener una absorción mayor y genera estos poros en los especímenes. A continuación, se tiene un esquema que relaciona la porosidad y la relación agua/cemento.

Figura39 Schematic drawings to demonstrate the relationship between the water/cement ratio and porosity.



Fuente: (Edu, 2016)

Por laFigura39 Schematic drawings to demonstrate the relationship between the water/cement ratio and porosity., se puede inferir que una baja porosidad y una reacción de hidratación a la totalidad generan una resistencia alta, lo cual falló en los ensayos realizados. Concluyendo también que “La baja relación agua a cemento conduce a una alta resistencia, pero baja trabajabilidad. La alta relación agua a cemento conduce a una resistencia baja, pero buena trabajabilidad.” (Edu, 2016)

La relación escogida para los segundos especímenes dio una mayor trabajabilidad pero una muy baja resistencia por la cantidad de agua, lo que se debe verificar siempre antes es tener una buena mezcla conglomerante, con buena trabajabilidad pero “con una relación a/c entre 0.35 y 0.6 lo cual normalmente trabajan los concretos” (Edu, 2016) para que su resistencia sea elevada.

11.3. RESISTENCIA A FLEXIÓN DE ESPECIMENES FINALES:

Los ensayos de flexión de vigas fueron realizados según la Norma Invias 415-13. Los especímenes fueron realizados el día 22 de septiembre y fueron fallados a 7, 14 y 28 días. Fueron fallados los días 29 de ,13 de octubre y 20 de octubre.

Figura 40 Viga de concreto generada a partir de suelo diatomáceo.



Fuente: Autores

Figura 41 Viga de concreto generada a partir de CP



Fuente: Autores

Las vigas fueron demarcadas a los tercios de su longitud y el ensayo realizado fue ejercer una fuerza sobre el espécimen. Las vigas se fallaron como lo muestra la imagen.

Figura 42 Ensayo de resistencia la Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de suelo diatomáceo

Figura 43 Ensayo de resistencia la Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de suelo diatomáceo



Fuente: Autores

Figura 44 Ensayo de resistencia la Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de CP



Fuente: Autores

Las marcas a cada tercio de su longitud, se realizó con el fin de medir la longitud mínima que se presenta entre uno de los dos tercios marcados con la falla presentada por la carga impuesta.

Toda la carga es aplicada al centro de la luz y el módulo de rotura es mayor que en la carga a los puntos tercios y la tensión máxima solo es en el centro de la viga. El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión. El tipo de falla evidenciada para la carga en el centro de la luz es fractura en $L/2$. (Nelson, September 1991)

Estos datos podrán observarse en los Anexos.

En la siguiente tabla se resumieron los datos obtenidos al efectuar la mayor carga y el cálculo según el área hallada de su resistencia.

Para hallar la Resistencia que soporta a flexión el concreto, se debe aplicar la siguiente ecuación, tomada de la normatividad INV 415-13.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde;

R: Resistencia (MPa)

P: Carga máxima aplicada (kN)

L: Longitud libre entre apoyos

B: ancho promedio del espécimen en el sitio de fractura

D: altura promedio de la muestra en el sitio de fractura.

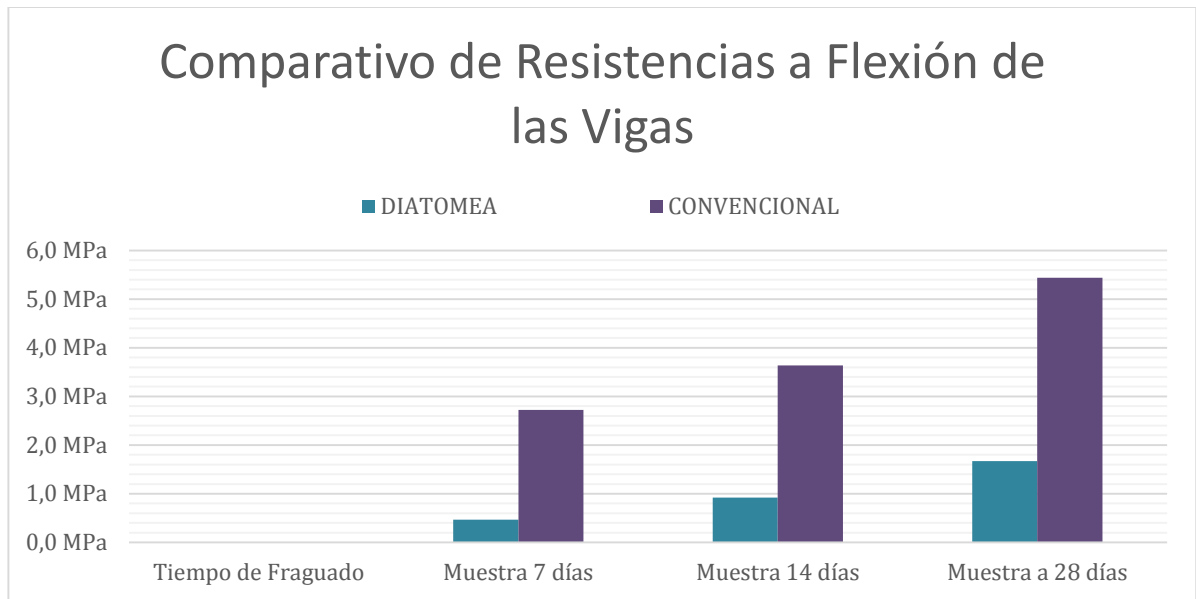
Tabla 19 Resultados de ensayo a Flexión de Vigas de concreto generadas a partir de suelo diatomáceo

VIGAS A FLEXIÓN				DIATOMEA		CONVENCIONAL	
Geometría			Tiempo de Fraguado	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia
L	52	cm	Muestra 7 días	2,330 kN	0,47 MPa	13,60 kN	2,72 MPa
H	15	cm	Muestra 14 días	4,600 kN	0,92 MPa	18,19 kN	3,64 MPa
Area	780,0	cm ²	Muestra a 28 días	8,350 kN	1,67 MPa	27,20 kN	5,44 MPa

Fuente: Autores

En la Tabla 19 se indica los resultados de la carga máxima de falla que recibieron cada uno de las muestras. Se fallaron a 7, 14 y 28 días. Se realizaron vigas convencionales y vigas con el material cementante generado a partir de diatomeas esto con el fin de poder comparar los resultados de sus resistencias.

Figura 45 Resultados de ensayo de Flexión de vigas en concreto generadas a partir de suelo diatomáceo.



Fuente: Autores

De acuerdo con las gráficas y los ensayos realizados se concluye que:

- El concreto generado a partir de CP de por si disminuye en gran cantidad su elevada resistencia que posee a la compresión en su resistencia a la flexión. La resistencia se disminuye en un 90% respecto a la resistencia a compresión.
- Los resultados del cemento generado a partir de suelo diatomáceo es un 28% de la resistencia a flexión que arrojó los ensayos del concreto de Cemento Portland.
- A los 28 días tanto el CP cómo el concreto generado por suelo diatomáceo genera una mayor resistencia respecto a los tiempos de fraguado anterior.

Para las vigas al igual que los cilindros, se elaboró una tabla en la que se muestra cómo el material generado a partir de CP llega la resistencia esperada a los 28 días.

Tabla 20 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Flexión

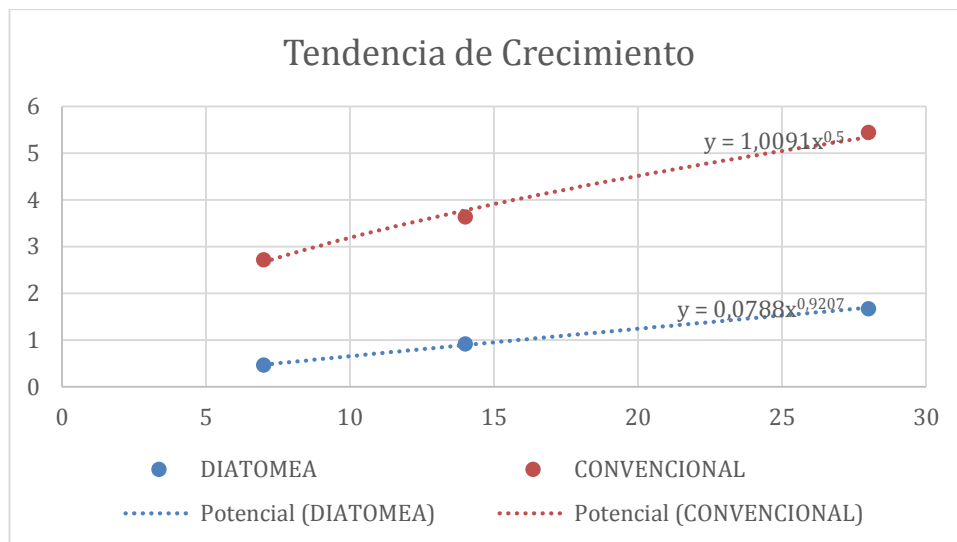
VIGAS A FLEXIÓN					CONVENCIONAL	
Geometría			Tiempo de Fraguado		Carga Soportada	Resistencia
L	52	cm	Muestra 7 días	0,500	13,60 kN	2,72 MPa
H	15	cm	Muestra 14 días	0,669	18,19 kN	3,64 MPa
Area	780,0	cm ²	Muestra a 28 días	1,000	27,20 kN	5,44 MPa

Fuente: Autores

Se puede inferir de la Tabla 20, los valores que están en rojo indican que las vigas de concreto realizadas a partir de CP, a los 7 días arrojaron una resistencia del 50% a la esperada en los 28 días, así como a los 14 días fue un 69%, hasta llegar a la resistencia esperada para un concreto de 3600PSI.

Para las vigas en concreto generados a partir de suelo diatomáceo, al tener tan bajas resistencias se verifico la tasa de crecimiento para así poder verificar a cuántos días se puede obtener la resistencia esperada al inicio de esta investigación a través de la siguiente gráfica.

Figura 46 Tendencia de crecimiento del Cemento Convencional y la Diatomea

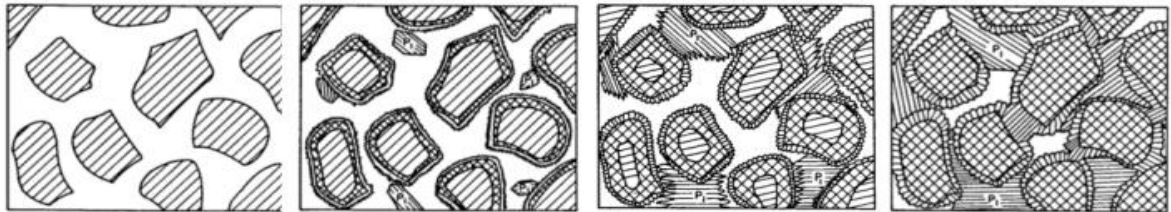


Fuente: Autores

De acuerdo a la gráfica Figura 46, se realizó el incremento en las resistencias hasta llegar a la resistencia evaluada en esta investigación 5,44MPa para un concreto de 3600PSI se requieren 99 días de fraguado con las dosificaciones desarrolladas en la investigación.

En el análisis para las vigas, en el diseño de mezcla está contemplado inicialmente mayores cantidades de cemento, agregados y por ende agua. El material cementante generado a partir de diatomeas según el análisis químico realizado necesitaba grandes cantidades de Calcio comparando la composición con un Cemento Portland. Es por ello que para las vigas se requirió mayor cantidad de Calcio en comparación con los cilindros.” La ventaja de utilizar Ca es que mantiene un alto pH en el agua y, por lo tanto, protege el acero de refuerzo de la corrosión inducida por la carbonatación. Pero cuando la cal está completamente carbonatada por el CO₂ contenido en el aire, esta protección se pierde.” (Aïtcin, 2016). De acuerdo a esto el uso de Ca, puede ser beneficioso, pero según lo descrito en el Capítulo anterior si los cristales no se alcanzan a formar totalmente el concreto no desarrollará toda su resistencia.

Figura47 The Microstructure of Portland Cement



Fuente: Paste (Nemati, 2015)

Al tener tanta cantidad de Calcio en la mezcla, se necesitarán más tiempo de fraguado para que la mezcla hidrate totalmente y lleguemos a la Resistencia esperada. Según el crecimiento que se realizó los especímenes de vigas llegan a la resistencia esperada hasta los 70 días, esto se concluye por que la cantidad de Ca es mayor a los demás especímenes y necesitará más días para que la reacción de hidratación pueda formar completamente los cristales y así generar una resistencia elevada.

11.4. RESISTENCIA DE MORTEROS ESPECIMENES FINALES:

Los ensayos de resistencia de morteros fueron realizados según la Norma NTC - 220. Los especímenes fueron realizados el día 15 de septiembre y fueron fallados a 7, 14 y 28 días. Fueron fallados los días 22 de septiembre, 29 de septiembre y 13 de octubre.

Figura 48 Mortero generado a partir de suelo diatomáceo y mortero de CP



Fuente: Autores

Previo a realizar los ensayos para los especímenes de mortero se tomaron medidas promediando valores. Con las dimensiones de longitud y se determinó el área y el esfuerzo que actúa sobre el espécimen. Adicionalmente se realizó un control al peso unitario de la muestra para determinar la resistencia.

Figura 49 Ensayo de resistencia de morteros generados a partir de suelo diatomáceo (Lado izquierdo) y Ensayo de resistencia de morteros generados a partir de CP (Lado Derecho)



Fuente: Autores

El tipo de falla presentado en los especímenes de mortero generados a partir de suelo diatomáceo es falla cónica y dividida o falla total que se presenta en especímenes de que presentan una cara de aplicación de carga convexa o por deficiencias del material, rugosidades o placas de carga. (NMX-C-083-ONNCCE, 2002)

Los resultados obtenidos fueron resumidos en la siguiente tabla:

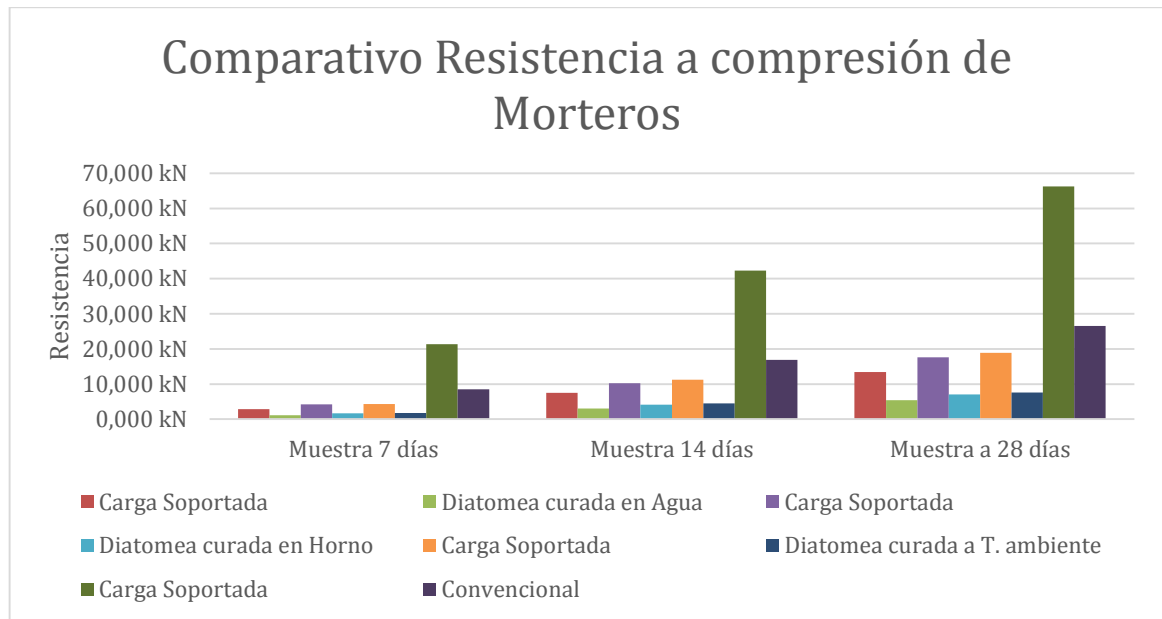
Tabla 21 Resultados de ensayo resistencia de morteros especímenes finales

CUBOS DE MORTERO		DIATOMEA CURADA EN AGUA		DIATOMEA CURADA EN HORNO		DIATOMEA CURADA A T. AMBIENTE		CONVENCIONAL		
GEOMETRÍA	Tipo de Mezcla	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia	Carga Soportada	Resistencia	
a	50 mm	Muestra 7 días	2,810 kN	1,12 MPa	4,230 kN	1,69 MPa	4,320 kN	1,73 MPa	21,330 kN	8,532 MPa
a	50 mm	Muestra 14 días	7,540 kN	3,02 MPa	10,210 kN	4,08 MPa	11,228 kN	4,49 MPa	42,300 kN	16,920 MPa
Are	2500,0 mm	Muestra a 28 días	13,420 kN	5,37 MPa	17,600 kN	7,04 MPa	18,860 kN	7,54 MPa	66,300 kN	26,520 MPa

Fuente: Autores

En la Tabla 21, se indica los resultados de la carga máxima de falla que recibieron cada uno de las muestras. Se fallaron a 7, 14 y 28 días. Se realizaron morteros convencionales y morteros con el material cementante generado a partir de diatomeas esto con el fin de poder comparar los resultados de sus resistencias.

Figura 50 Resultados de ensayo de resistencia de morteros generadas a partir de suelo diatomáceo.



Fuente: Autores

De acuerdo a los resultados anteriores se puede concluir que

- Los resultados del cemento generado a partir de suelo diatomáceo es un 28% de la resistencia de morteros que arrojó los ensayos del convencional
- A los 28 días tanto el CP como el concreto generado por suelo diatomáceo genera una mayor resistencia respecto a los tiempos de fraguado anterior.
- El curado a Temperatura ambiente arrojó mayor resistencia comparada con el restante de resultados por su tipo de curado.

En la siguiente tabla se muestra cómo el material generado a partir de CP llega la resistencia esperada a los 28 días.

Tabla 22 Relación de Resistencia con la edad del espécimen ensayado a Compresión de Morteros

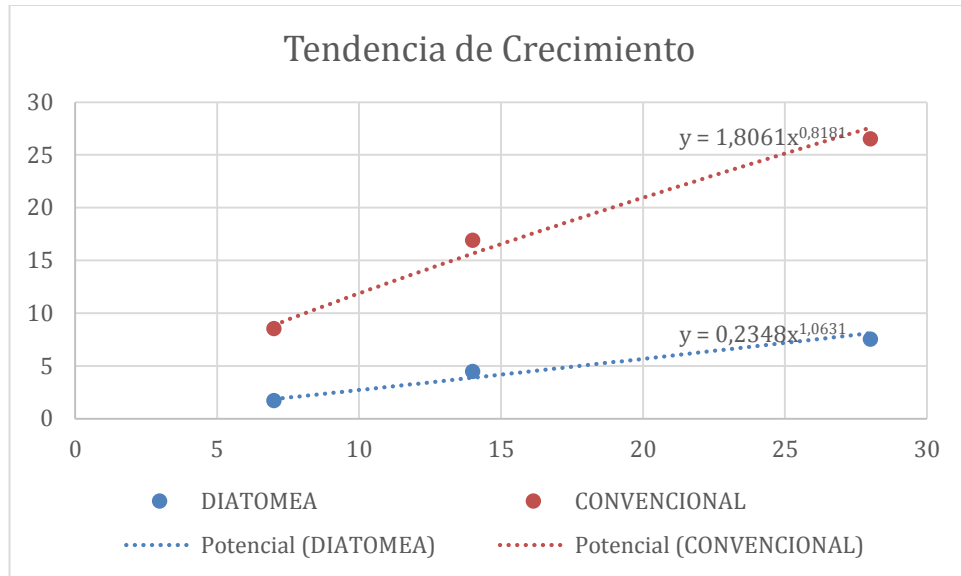
CUBOS DE MORTERO				CONVENCIONAL	
GEOMETRÍA		Tipo de Mezcla		Carga Soportada	Resistencia
a	50 mm	Muestra 7 días	0,322	21,330 kN	8,532 MPa
a	50 mm	Muestra 14 días	0,638	42,300 kN	16,920 MPa
Area	2500,0 mm ²	Muestra a 28 días	1,000	66,300 kN	26,520 MPa

Fuente: Autores

Se puede inferir de la Tabla 22 que, los valores que están en rojo indican que los cubos de morteros realizadas a partir de CP, a los 7 días arrojaron una resistencia del 32% a la esperada en los 28 días, así como a los 14 días fue un 63%, hasta llegar a la resistencia esperada para un concreto de 3600PSI.

Siguiendo con el mejor de los resultados en los tres casos se realizó un análisis para el material generado a partir de diatomea, curado a Temperatura ambiente, ya que al tener tan bajas resistencias se verifico la tasa de crecimiento para así poder verificar a cuántos días se puede obtener la resistencia esperada al inicio de esta investigación.

Figura 51 Tendencia de Crecimiento para cemento y Diatomea para el caso de Morteros

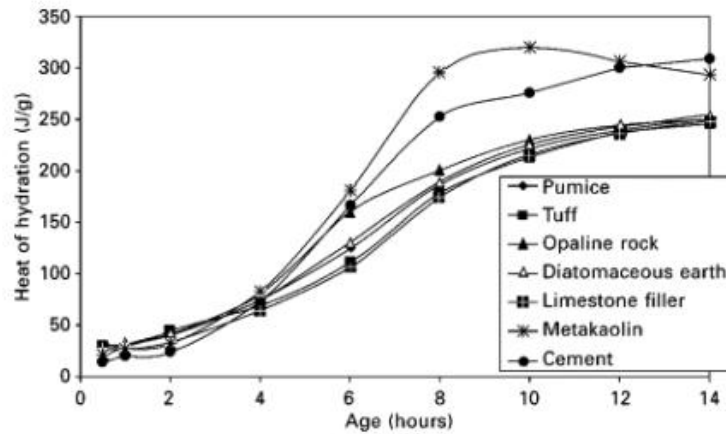


Fuente: Autores

De acuerdo a la gráfica Figura 51, se realizó el incremento en las resistencias hasta llegar a la resistencia evaluada en esta investigación 26,53MPa para un concreto de 3600PSI se requieren 86 días de fraguado con las dosificaciones desarrolladas en la investigación.

A pesar de que los morteros realizados con material cementante compuesto por diatomeas generó una resistencia menor que los morteros con CP convencional, al realizar la mezcla para la producción del mismo se le agrego una considerable cantidad de CaO lo que le aporta hidratación al mortero, en la Figura52 Heat of hydration versus time: mortar prepared with different additions podemos evidenciar el calor de hidratación a lo largo del tiempo hasta 14 horas para los cementos preparados con diferentes materiales. El efecto de cada material sobre el calor de hidratación generado por el cemento Portland de base, fue el mismo en todas las mezclas. (Aïtcin, 2016).

Figura52 Heat of hydration versus time: mortar prepared with different additions



Fuente: (Aïtcin, 2016)

Para la tierra de diatomeas se evidencia un aumento en el calor de hidratación en las primeras horas de la prueba la pendiente ascendió notablemente al igual que la del cemento convencional y finalmente se concluye que la actividad puzolánica dentro del material es importante para el desarrollo del calor de hidratación. Esto es debido a las reacciones específicas con hidróxido de calcio.

Por tanto, a los especímenes de mortero se le deben generar suficiente producto para su hidratación y un tiempo estimado para su fraguado, diferenciando así el concreto fresco con el concreto endurecido y si es necesario llevarlo a un proceso de auto desecación para la eliminación de los huecos de aire.

12. CONCLUSIONES

El objetivo principal de la investigación se cumplió evaluando mecánicamente el cemento generado a partir de suelo diatomáceo.

Se desarrolló un material cementante en reacción álcali-sílice, determinando su resistencia a ensayos de compresión y flexión en concretos y morteros comparando los resultados con el cemento generado a partir de Cemento Portland. Este objetivo era de gran importancia porque en anteriores investigaciones sólo se había estudiado la adición de porcentajes pequeños al cemento de suelo diatomáceo, generando altas resistencias.

Analizando la comparación echa entre la tendencia del concreto generado a partir de Cemento Portland y los ensayos realizados a compresión y flexión se llega a la conclusión que la resistencia obtenida no reúne los parámetros requeridos para ser usado en obra, dado que la mezcla que usada para construcción son concretos de 3000PSI los cuales generan resistencias de 21 MPa a los 28 días de fraguado. Para el caso del concreto generado a partir de suelo diatomaceo se presentan resistencias bajas obtenidas en los ensayos de compresión ya que se tiene una resistencia de 25 Mpa a los 28 días de curado a lo que se entiende es una resistencia menor a la esperada a este tiempo que es de 28 Mpa. Se concluye después de una investigación que las razones por las cuales se obtienen estas resistencias bajas es por la manipulación y el curado de los especímenes de concreto y esta reducción de la resistencia también se debe a un error en la adición de agua al concreto debido a demoras en el vaciado y un elevado contenido de aire.

El cemento generado a partir de suelo diatomáceo fue diseñado para un concreto de 3600PSI no llegando a la resistencia esperada de 28 MPa, si no con una resistencia baja de 8.2 MPa. Los valores arrojados en los ensayos realizados compresión, flexión de concretos y compresión de mortero oscilan entre el 28% al 32% de la resistencia del concreto generado a partir de Cemento Portland.

De acuerdo a la caracterización química del material realizada por medio del ensayo de Difracción de Rayos X (DRX), se puede concluir que la mezcla realizada obtuvo grandes cantidades de Óxido de calcio, las cuales al ser la diatomea un material de gran absorción y con grandes humedades reacciona con este compuesto y genera un hidróxido de calcio, formando el mineral de Portlandita. Adicional por la descomposición el proceso de combustión que sufre la materia organica de la diatomea y la reacción de este hidróxido de calcio formado anteriormente con el dióxido de carbono generado por la combustión se forman grandes cantidades de calcita que también pueden ser reflejadas en estos resultados.

Se ha realizado el respectivo análisis de la baja resistencia arrojada del material cementante generado comparado con los resultados arrojados por el DRX y una de las posibles razones para no llegar a esta resistencia esperada, fue la incorporación de altas cantidades de Calcio lo cual genera cristales tricálcicos de silicato que genera en los últimos días la resistencia al concreto, mezcla que debe tener un correcto procedimiento de hidratación pues si no es así estos cristales serán un impedimento para el paso del agua y la incorporación total de los componentes, lo cual genera bajas resistencias en el concreto y una formación de los tricálcicos de silicato media.

Adicional dentro del análisis se puede observar que la relación a/c es de gran importancia para dar una buena trabajabilidad y resistencia al cemento. Es relevante que la mezcla tenga una relación a/c entre 0.3 y 0.6 para que pueda tener elevadas resistencias y buena trabajabilidad, pues concretos con baja relación a/c serán mezclas secas que generarán vacíos en los especímenes y no se crea una adherencia completa entre los componentes y por esto arrojan bajas resistencias, mientras que una mezcla con relaciones a/c altas generan mayores maleabilidades en el material pero no hay una buena consistencia en la mezcla lo que genera mayor volumen de agua respecto al cemento y bajas resistencias. Es importante tener claro las relaciones a utilizar y a que resistencias se quiere llegar, ya que en la investigación se puede notar dos tipos de relación a/c , donde la menor arrojó valores más elevados.

13.RECOMENDACIONES

Este es un proyecto que genera grandes campos de estudio dentro de la Ingeniería Civil en la incorporación de estos tipos de materiales tales cómo; pavimentos, generación de materiales nuevos, concretos para estructuras, etc. Lo que genera un impulso para realizar estudios al material precursor elegido en este caso Suelo diatomáceo dentro de todos lineamientos ya que es un material que se compone químicamente de elementos que según lo descrito a lo largo de esta investigación se llega a comportar muy bien mecánicamente en proporciones adecuadas o hasta en un 100% con procedimientos químicos y físicos correctos.

Seguidos de esto, se recomienda realizar ensayos adicionales a este material. Ensayos cómo: asentamientos generados en el concreto propuesto, permeabilidades en el caso de estudiar el material con una granulometría porosa, tiempos de fraguado en el cemento, etc. Esto con el fin de analizar el desempeño mecánico que pueda tener la mezcla con el material precursor elegido.

Se recomienda realizar más muestras de las mezclas que se realicen para poder obtener más información y generar mezclas adecuadas para las resistencias esperadas.

Adicional se recomienda realizar estudios de trabajabilidad del material propuesto, ya que en esta investigación se concluyó que una relación a/c buena no necesariamente generaba una buena trabajabilidad, debe estar complementada.

BIBLIOGRAFÍA

Potential Utilization of a Low Quality-Fly Ash as an Aluminosilicate Source in the Production of Geopolymers. **Johanna Mejía, E. D. 2014.** Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

Acuña, R. E. 2002. *Caracterización de Geopolímeros base ceniza volante y Escoria granulada de alto horno.* Monterrey, México. : s.n., 2002.

Aïtcin, P.-C. 2016. *Hydrated lime (portlandite).* s.l. : Science and Technology of Concrete Admixtures, 2016.

Álvarez, L. C. 2017. *Es Necesario Disponer de Nuevos Cementos y Hormigones en el Siglo XXI.* 2017.

Andes, Universidad de los. Microscopía de Barrido de Electrones (MEB). [Online] [Cited: 10 10, 2018.] <https://investigaciones.uniandes.edu.co/es/microscopio-electronico-de-barrido-meb/>.

Aplicaciones., Instituto Español del Cemento y sus. 2015. IECA. [Online] 2015. <https://www.ieca.es/historia-del-cemento/>.

ASTM. 1989. *Materiales puzólanicos.* 1989.

Bolívar, Gabriel. 2016. Liferder.com. *Óxido de Calcio (CaO): Estructura, Propiedades y Usos.* [Online] 2016. [Cited: octubre 2018, 25.] <https://www.liferder.com/oxido-calcio/>.

Caballero, Sánchez, Ríos. 2013. *Synthesis of geopolymers from alkaline activation of gold mining wastes.* EEUU : s.n., 2013.

Ceccato, D.M., et al. 2009. *Reciclaje de escoria granulada de fundición (EGF) como sustitución de parte del cemento en hormigón.* Rio de Janeiro : s.n., 2009.

Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species. **B.Caicedo, D.Zuluaga, C. Slebi. 2015.** Bogota, Colombia : s.n., 2015.

Construcción, Canal. 2015. Cemento Portland usos y tipos. *Construir.* [Online] 2015. <http://canalconstruccion.com/cemento-portland-usos-y-tipos.html>.

- Córdoba, Andrés. 2018.** Puztmeister. *Puztmeister*. [Online] Abril 18, 2018. [Cited: Octubre 27, 2018.] <http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>.
- Davidovits, Joseph. 2017.** *Geopolímero*. s.l. : Science Direct, 2017.
- Delgado, Manuel. 2013.** La difracción de rayos X (DRX) . *blogger.com*. [Online] 10 20, 2013. [Cited: 10 10, 2018.] <http://cienciayrestauracion.blogspot.com/2013/10/la-difraccion-de-rayos-x-drx.html>.
- Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete.* **Hardiito Diwantoro, Rangan, B. Vijava. 2005.** 2005.
- Diatomea. Survey, US Geological. 2013.* 2013.
- Diatomita, que es y cuales son sus principales usos.* **Activismo, Actualidad y Ecología. 2010.** 2010.
- Eco y Ambiente. 2015.** Composición química de la Tierra de Diatomeas. [Online] octubre 11, 2015. <http://ecoyambiente.com/?p=4872>.
- Editorial, O. G. 2008.** *Enciclopedia Autodidáctica Interactiva Océano*. Barcelona , España : Grupo editorial S.A., 2008.
- Edu, Illinois. 2016.** *Concrete: Scientific Principles*. s.l. : Illinois, 2016.
- El cemento y la producción de CO2.* **Domoterra. 2013.** 2013, Revista Sección.
- Geopolymer and Portland cement concretes in simulated fire.* **R.Zhao, and J.G. Sanjayan. 2015.** 2015.
- Geopolymer technology: the current state of the art.* **P.Duxson, S.J. van Deventer. 2006.** 2006.
- Goma, Fernando. 1979.** *Cemento portland y otros aglomerantes*. Barcelona : s.n., 1979.
- Goren R, B. T. 2002.** *A study on the purification of diatomite in hydrochloric acid.* 2002.
- H&M, Grupo. 2005.** ¿CÓMO ELEGIR EL TIPO DE CONCRETO PARA SU PROYECTO? [Online] 2005. <http://www.grupohym.com/2016/09/20/como-elegir-tipo-concreto-proyecto/>.

- Herrera, M. E. 2013.** *Estudio Experimental de las Propiedades de los Geopolímeros*. Santiago de Chile : s.n., 2013.
- Huntzinger, DN., Eatmon, TD. 2009.** *A life-cycle assessment of cement manufacturing: Comparing traditional process with alternative technologies*. s.l. : J Clean Prod, Vol. 17(7), PP. 668–75., 2009.
- Invias. 2013.** Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. *Invias*. [Online] 2013.
<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>.
- JOHANNA ACERO, JOHN CUERVO. 2015.** *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA LÍNEA DE INESTABILIDAD BAJO CONDICIONES ANISOTRÓPICAS DE CARGA NO DRENADA MONOTÓNICA*. Colombia : s.n., 2015.
- Julian perez, A. G. 2005.** *ALCALINO*. 2005.
- Katime, I. 1994.** *Química Física Macromolecular I*. . Bilbao : UPV/EHU., 1994.
- Komnitsas, Kostas and Zaharaki, Dimitra. 2007 vol. 20, p. 1261–1277.** *Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry*. s.l. : Minerals Engineering, 2007 vol. 20, p. 1261–1277.
- L.R. Santillán, Y.A. Villagrán Zaccardi, N.M. Alderete, C.J. Zega , N. De Belie. 2016.** *Cuantificación mineralógica de cementos mediante análisis rietveld de drx. análisis cruzado de difractogramas experimentales y programas de refinamiento*. 2016.
- Lara, J. 1998.** *Temas de actualidad para la industria avícola*. Puebla, México. : s.n., 1998.
- López, C. M. 2015.** *Evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento portland*. Palmira, Colombia : s.n., 2015.
- Lopez, Carolina Martinez. 2015.** *Evaluación ambiental del uso de geopolimeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento Portland*. Palmira, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- Lora, Á. V. 2016.** *Geopolímeros sintetizados a partir de distintos materiales residuales. Activación alcalina de cenizas de cascarilla de arroz*. Sevilla : s.n., 2016.

Meteorología, Asociación Canaria de. 2009. Las Emisiones Antropogénicas. ACANME. [Online] 2009.
<http://www.acanmet.org/portal/pages/climatologia/cambio-climatico/las-emisiones-antropogenicas.php>.

Microscopios Electrónicos de Barrido (SEM). **Delgado, Dra. Gladis Labrada. 2006.** 2006, IPICYT.

Muñoz, J. F. 2015. *Cálculo de la huella de Carbono asociada a la elaboración de Hormigones Geopoliméricos.* Santiago de Chile, Chile : s.n., 2015.

Nelson, Richard C. Meininger and norm. September 1991. *Concrete mixture evaluation and acceptance for air field pavements.* September 1991.

Nemati, Professor Kamran M. 2015. *HYDRAULIC CEMENTS.* s.l. : University of Washington, 2015.

NMX-C-083-ONNCCE, Norma. 2002. Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto-Método de prueba. Mexico : s.n., 2002.

O. G, Editorial . 2008. *Enciclopedia Autodidáctica Interactiva Océano.* Barcelona , España : Grupo editorial S.A., 2008.

Polania, Aethor. 2015. Profesor en Línea. *Profesor en Línea.* [Online] 2015.
http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Calor_Equilibrio_termico.html.

Ponjuan. A., y otros. 1979. *Química Inorgánica Tomo I.* Ciudad de La Habana : Pueblo y Educación, 1979.

QuimiNet. 2011. QuimiNet.com. [Online] 11 02, 2011. [Cited: 10 27, 2018.]
<https://www.quiminet.com/articulos/el-oxido-de-hierro-y-sus-aplicaciones-2634878.htm>.

Susan Solomon. 2009. Los daños atmosféricos por las emisiones de CO2 son irreversibles. *EL PAÍS.* ENERO 27, 2009.

Technology, National Institute Of Standards and. 2011. NLST. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69.* [Online] 2011.
<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=7631-86-9>.

Terreros, Ricardo Antonio Carranza. 2017. *Nuevos materiales conglomerantes a partir de tierras de diatomeas de distinto origen: reactividad puzolánica .* 2017.

Torres, Arnold Giuseppe Gutiérrez. 2017. *Obtención y Caracterización de Geopolímeros sintetizados a partir de la escoria granulada de alto horno como uso alternativo del Cemento Portland.* Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Valcuende Payá, Manuel, et al. 2007. *Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura.* Valencia, España : Universidad de Valencia, 2007.

Villaquirán, Mónica Alejandra R. E. 2015. *Evaluación microestructural de geopolímeros basados en metacaolín y fuentes alternativas de sílice expuestos a temperaturas altas.* 2015.

Yepes, O.N, Bedoya, C.M, Gómez, J.D. 2012. *Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de tierra con geopolímeros (btg).* 2012.

Zarate, Joel. 2010. *Propiedades físicas químicas y mecánicas del cemento.* Peru : Academia, 2010.

ANEXOS

