

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO LA SÍLICE AMORFA
TIERRA DE DIATOMEAS COMO ADITIVO NATURAL Y EVALUACIÓN DE SU
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**



ALFREDO LUIS CHINCHILLA MONTAÑO

CARLOS ANDRÉS OVALLE ARDILA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR CESAR

2020



**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO LA SÍLICE AMORFA
TIERRA DE DIATOMEAS COMO ADITIVO NATURAL Y EVALUACIÓN DE SU
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

**ALFREDO LUIS CHINCHILLA MONTAÑO
CARLOS ANDRÉS OVALLE ARDILA**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y SANITARIO**

DIRECTOR

Ing. FERNANDO ANAYA PAYARES

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR CESAR**

2020



ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1. ANTECEDENTES	15
4.2. MARCO TEÓRICO	17
4.2.1. Cemento.....	17
4.2.2. Cemento portland.....	17
4.2.3. Producción del cemento portland	17
4.2.4. Tipos de cemento portland.....	18
4.2.5. Concreto con microsílíce.....	20
4.2.6. Impacto Ambiental En La Producción De Cemento.....	20
4.2.7. Puzolana.....	21
4.2.8. Diatomeas	21
4.2.9. Características de la diatomita.....	23
4.2.10. Fraguado inicial	23
4.2.11. Fraguado final	23
4.2.12. Agregados	24
4.2.13. Agregado fino.....	24
4.2.14. Agregado grueso	24
4.2.15. Análisis granulométrico	25
4.2.16. Tamaño máximo de las partículas.....	25



4.2.17.	Diseño de mezclas.....	25
4.2.18.	Resistencia a la compresión.....	26
4.2.19.	Ensayos para la determinación de la resistencia del concreto.....	26
4.2.20.	Ensayo de la resistencia a la compresión.....	27
4.2.21.	Contracción.....	27
4.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	28
4.4.	MARCO CONTEXTUAL.....	30
4.5.	MARCO LEGAL.....	32
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	34
5.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
5.2.	POBLACIÓN, OBJETO DE ESTUDIO Y MUESTRA.....	34
5.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ESPECIFICA DEL POLVO TIERRA DE DIATOMEAS QUE SE UTILIZÓ COMO ADITIVO NATURAL.....	34
5.3.1.	Análisis físico.....	34
5.3.2.	Análisis químico.....	37
5.4.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	37
5.4.1.	Agregado fino.....	38
5.4.2.	Granulometría de agregado grueso.....	45
5.4.3.	Determinación del porcentaje de diatomeas.....	51
5.4.4.	Diseño de mezcla.....	52
5.4.5.	Preparación de mezcla, encofrado y ensayo de resistencia.....	66
6.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	69
6.1.	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LA DIATOMITA.....	69
6.2.	ANÁLISIS DE FINURA DE LA DIATOMITA.....	70
6.3.	ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	70
6.4.	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA DELIMITACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE DIATOMITA	73
6.5.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PATRÓN.....	72
6.6.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ÓPTIMA.....	73
6.7.	ANÁLISIS DE COMPARACIÓN CUANTITATIVO DE LA RESISTENCIA PATRÓN VS ÓPTIMA .	74
6.8.	BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA ADICIÓN DE SÍLICE AMORFA EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETOS CONVENCIONALES.....	75



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
8. BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS	79
1. Ficha de resultados Químicos AGRILAB.	79
2. Resultados fallas resistencia a la compresión.....	80
3. Certificado resistencia a la compresión.	81
4. Certificado resistencia a la compresión.	82



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación geográfica departamento de Cesar	30
Ilustración 2 Análisis físico diatomeas	35
Ilustración 3 Gravedad específica diatomeas	37
Ilustración 4 Resultados de Análisis Químico	37
Ilustración 5 Muestra agregado fino.....	38
Ilustración 6 Masa unitaria suelta.....	40
Ilustración 7 Masa Unitaria compacta	41
Ilustración 8 Densidad aparentemente seca	43
Ilustración 10 Tamizado agregado fino.....	44
Ilustración 9 Curva granulométrica Agregado fino	45
Ilustración 11 Masa Unitaria suelta	47
Ilustración 12 Curva granulométrica.....	51
Ilustración 13 Agregado grueso	50
Ilustración 14 Procedimiento del método de la Road Note Laboratory (RNL)	59
Ilustración 15 Asentamiento.....	67
Ilustración 16 Cilindros	67
Ilustración 17 fallas de cilindros a los 28 días	68
Ilustración 18 Ficha de resultados Químicos AGRILAB	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 19 Cilindro Patrón	80
Ilustración 20 Cilindros con adición de Diatomeas al 5%	80
Ilustración 21 Cilindro con adición de Diatomeas al 10%	80
Ilustración 22 Cilindro con adición de Diatomeas al 15%	80



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos y aplicaciones del cemento portland.....	19
Tabla 2 Composición Diatiovny.....	22
Tabla 3 Gravedad específica, calibración matraz.....	36
Tabla 4 Porcentaje de Humedad.....	38
Tabla 5 Porcentaje de Absorción.....	39
Tabla 6 Masa Unitaria suelta.....	40
Tabla 7 Masa Unitaria compacta.....	41
Tabla 8 Densidad aparentemente seca.....	42
Tabla 9 Granulometría agregado fino.....	43
Tabla 10 Recomendaciones A.F. NTC 174.....	44
Tabla 11 Porcentaje de humedad grava.....	45
Tabla 12 Porcentaje de absorción grava.....	46
Tabla 13Masa Unitaria suelta, Grava.....	47
Tabla 14 Masa Unitaria Compacta, Grava.....	48
Tabla 15 Densidad aparentemente seca grava.....	49
Tabla 16 Resultados granulometría Grava.....	49
Tabla 17 Recomendaciones granulométricas NTC 174.....	50
Tabla 18 Porcentajes de las muestras para la investigación.....	51
Tabla 19 Datos del agregado grueso.....	52
Tabla 20 Datos del agregado fino.....	53
Tabla 21 Datos agua/cemento.....	53
Tabla 22 Datos cilindro.....	53
Tabla 23 selección de asentamiento.....	54
Tabla 24Valores recomendados de TMN según tipo de construcción.....	54
Tabla 25 Estimación del contenido de aire.....	55
Tabla 26 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa en concreto sin aire incluido.....	55
Tabla 27 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	56
Tabla 28 selección de relación agua/cemento.....	56
Tabla 29 interpolación relación agua/cemento.....	57
Tabla 30 Cantidad de cemento.....	57
Tabla 31 Verificaciones y especificaciones granulométricas de los agregados.....	58
Tabla 32 Optimización de granulometría por método RNL.....	59
Tabla 33 Densidad aparente promedio.....	61
Tabla 34 Ajuste por humedad de los agregados.....	62
Tabla 35 Agua en exceso.....	63
Tabla 36 Grava + Arena en exceso.....	63
Tabla 37 Ajuste por humedad.....	63



Tabla 38 Ajuste de cemento	64
Tabla 39 Realización de pruebas.....	64
Tabla 40 Cantidad de material	65
Tabla 41 Peso de materiales para la prueba.....	66
Tabla 42 Composición física de la diatomita.....	69
Tabla 43 Composición química	70
Tabla 44 Falla de probetas a 28 días.....	71
Tabla 45 Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación a/c = 0.41.....	72
Tabla 46 Resistencias con dosificaciones de diatomita	73
Tabla 47 Análisis de la resistencia patrón	72
Tabla 48 Análisis de la resistencia óptima	73
Tabla 49 Resistencia patrón vs óptima.	74
Tabla 50 Patrón vs óptima	74



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de humedad natural diatomeas	35
Ecuación 2 Retenido malla #325	35
Ecuación 3 Gravedad especifica.....	36
Ecuación 4 Porcentaje de Humedad A. fino.....	38
Ecuación 5 Porcentaje de Absorción.....	39
Ecuación 6 Masa unitaria suelta	40
Ecuación 7 Masa unitaria compacta	41
Ecuación 8 Densidad aparentemente seca agregado fino.....	42
Ecuación 9 Modulo de finura	43
Ecuación 10 Humedad natural grava	46
Ecuación 11 Absorción grava	46
Ecuación 12 Masa unitaria compacta	48
Ecuación 13 Densidad aparentemente seca grava	49
Ecuación 14 Determinación de resistencia de diseño	56
Ecuación 15 Cantidad de cemento	57
Ecuación 16 Densidad promedio	60
Ecuación 17 Densidad promedio grava.....	61
Ecuación 18 Densidad promedio arena	61
Ecuación 19 corrección de grava en exceso	62
Ecuación 20 corrección de arena en exceso	63
Ecuación 21 ajuste de humedad agua	64
Ecuación 22 Ajuste cemento.....	64
Ecuación 23 Cantidad de arena para 2 cilindros	65
Ecuación 24 Cantidad de cemento en kg.....	65
Ecuación 25 Proporción agua.....	65
Ecuación 26 Proporción grava	65
Ecuación 27 Proporción arena	66



INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en el estudio experimental de la sílice amorfa tierra de diatomeas como material cementante para disminuir el uso del cemento en la elaboración de concreto en las construcciones más utilizadas o comerciales según su tipo de asentamiento y su tipo de colocación cumpliendo con todos los requerimientos que este necesita para su aplicación y uso. Así mismo reducir la contaminación que este genera en el medio, ya que las principales emisiones de la producción del cemento son material particulado, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles, además del alto consumo energético.

En la parte metodológica y experimental se procedió con un diseño de mezcla patrón y remplazar en diferentes porcentajes el cemento por la sílice amorfa tierra de diatomeas esto con el fin de realizar una comparación y analizar los resultados en la resistencia a la compresión del concreto con los diferentes porcentajes y la muestra patrón, ya que este se emplea como medida de calidad, para estimar la durabilidad y la resistencia a la meteorización. Cabe recalcar que por cada uno de los porcentajes a utilizar se tomaron dos muestras y se compraron con la muestra patrón. Los porcentajes que se trabajaron fueron de 5%, 10% y 15% de la sílice amorfa tierra de diatomeas en remplazo del cemento del diseño de mezcla patrón para resaltar que en ninguna mezcla se utilizó algún tipo de aditivo adicional.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante años se ha analizado a nivel mundial el comportamiento de los aditivos químicos en el concreto. Las fábricas de la industria del cemento generan principalmente productos en forma de polvo, que con la adición de agua son moldeables y tras un tiempo de reacción dado, estos se endurecen.

Los aditivos químicos han tenido una serie de avances a partir de sus primeras apariciones, sus usos se han incrementado en el transcurso de los años debido a su comportamiento físico, y a sus respuestas químicas; siendo estos compuestos químicos asequibles en el mercado en comparación con otros aditivos naturales. Lo anterior se demuestra con las grandes cantidades de aplicación mundial de estos aditivos y el permanente crecimiento de la industria del concreto.

A raíz de este crecimiento y para cumplir con la demanda mundial se han excavado y explotado los minerales como la sílice cristalina, la forma más común del cuarzo que se encuentra en la mayoría de los distintos tipos de rocas. Tras este proceso de extracción del mineral y elaboración del aditivo se generan unas series de impactos al medioambiente como son: generación de gases, polvos, ruidos, tala de árboles, afectación del suelo, ecosistemas, etc.

Algunas de las afectaciones más importantes, identificadas son:

- La tala forestal produce un daño inmenso en la calidad del suelo, ya que sobre él se realizan las actividades de transporte, disposición de escombros y recibe los efluentes líquidos que se infiltran en el terreno y produce pérdida de hábitat de millones de especies.
- La excavación y explotación de rocas generan:
 - ✓ Contaminación del aire: La generación de impurezas sólidas como el polvo por combustibles tóxicos con vapores contaminantes y por procesos de combustión incompleta.



- ✓ Contaminación del agua superficial: Los cuerpos de agua reciben los residuos sólidos generados en el área de explotación y puede generar la elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona contaminando sus aguas.
- El movimiento de tierra puede interrumpir la cantidad de acuíferos locales y producir contaminaciones en las aguas, alterando así las características físicas y la calidad de dichas aguas.
- Impacto negativo social: El aumento de tránsito por caminos locales, congestión, accidentes y el impacto en áreas que son sagradas para grupos indígenas.
- En la extracción de materias primas puede producirse durante corto tiempo molestias de ruido a causa de explosiones y las consiguientes sacudidas.
- El emplazamiento de las fábricas de cemento y la infraestructura comprende: suministro y posibilidades de vivienda para el personal femenino y masculino, industrialización existente y planificación de la zona, dado que el impacto ambiental no se limita al área de la fábrica o extracción, sino también a los grupos de población afectando a mujeres y niños, que tienen derecho a atención médica.



2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la contaminación que genera la obtención de la sílice cristalina por el método de explotación de rocas, se han excavado y explotado los recursos naturales. Tras este proceso de extracción del mineral y elaboración del aditivo que ha tenido un alto crecimiento a través de los años, han generado unas series de impactos ambientales como lo son: generación de gases, polvos, ruidos, tala de árboles, afectación del suelo y ecosistemas.

Lo anterior fue motivo para llevar a cabo la investigación sobre la tierra diatomea (restos fósiles de las diatomeas), ya que contiene una gran cantidad de sílice amorfo, que puede ser aprovechado como aditivo natural para mejorar la resistencia a la compresión del concreto, y así disminuir su uso (sílice cristalina) así como el porcentaje de cemento utilizado, logrando obtener de manera significativa el mismo grado de resistencia que los aditivos cristalinos.

Esta investigación es de gran importancia, ya que, dependiendo de los resultados finales, se podrá saber si empleando la tierra de diatomeas como aditivo natural, para la fabricación del concreto, es conveniente su utilización, y así disminuir los impactos ambientales que se generan en la obtención de la sílice cristalina como los químicos utilizados para la explotación, la tala forestal, transporte, etc., logrando así, reducir la contaminación de esta actividad.

Con este proyecto se busca proteger los recursos naturales y ayudar a mantener la diversidad de la flora y fauna para garantizar un aporte positivo a las poblaciones presentes y futuras, ya que es un derecho fundamental tener acceso a un ambiente sano.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una mezcla de concreto implementando cemento ASTM C1157 tipo 1 tomando como aditivo natural la sílice amorfa tierra de diatomeas para su aplicación en la producción del concreto convencional para potenciar el desarrollo tecnológico del concreto en Colombia.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la composición específica del polvo tierra de diatomeas que se utilizará como aditivo natural.
- Diseñar la mezcla de concreto para los diferentes tipos de prueba según las (NTC).
- Comparar y analizar las pruebas de resistencia del concreto con el aditivo tierra de diatomeas con la resistencia de la muestra de concreto patrón.
- Determinar los beneficios ambientales de la adición de sílice amorfa en la producción de concretos convencionales



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

Las diatomeas son tema de estudio en diferentes partes del mundo especialmente por la alta cantidad que tiene de sílice amorfo y el efecto que tiene en la fijación del carbono orgánico del planeta, alrededor del 25 % lo hacen estos microorganismos, a pesar de que es relativamente nuevo el uso de estas especies en la elaboración del concreto, se denotan algunas investigaciones como lo son:

Carol, Sánchez Stasiw en su “Estudio Experimental del Empleo de la Diatomita en la Producción de Concreto de Alto Desempeño”.

En el (2008) realizado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, el tema se centra en el estudio experimental del empleo de diatomita como material cementante suplementario en la producción de concreto de alto desempeño como alternativa al uso de la microsílíce, teniendo como objetivo la evaluación del potencial, y posibilidad de reemplazo del cemento y el efecto en las propiedades mecánicas y físicas del concreto en estado fresco y endurecido.

La principal causa por la cual se realizó el estudio fue la problemática de durabilidad del concreto al pasar lo años. Por ello, el estudio se centró en investigar acerca de un material puzolánico que ofreciera aparte de altas resistencias a la compresión, baja permeabilidad, bajo calor de hidratación, entre otras. El presente estudio aportó ciertos criterios técnicos en la dosificación de la mezcla como lo son: Cantidades aproximada de agua de amasado para diferente slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.

Leandro Espinoza, J. (2010), en su tesis titulada: “Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia”.

El estudio se realizó en la Universidad Ricardo Palma, la principal causa por la cual se realizó el estudio fue la problemática de la corrosión del acero de refuerzo y el ataque químico en los concretos, la investigación obtuvo las siguientes



conclusiones: La resistencia del concreto con los diferentes tipos de diatomitas es baja inicialmente, pero la ganancia de resistencia es continuada por un periodo de tiempo más largo comparado con la mezcla que solo posee cemento, lo que da como resultado resistencia última más elevada y también reducen el % de vacíos y poros permeables, evitando así la penetración de agua y sales. El presente estudio aportó ciertos criterios metodológicos en el diseño de mezcla.

Patricia Vilca Aranda en su investigación titulada “Obtención del Concreto de Alta Resistencia” realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería; sustentada en diciembre del 2008 en la Facultad de Ingeniería Civil. Los asesores designados para esta tesis fueron los ingenieros Carlos Barzola Gastelu y Enrique Riva López. La tesis se desarrolló en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la UNI. El propósito de la tesis fue desarrollar una tecnología apropiada para obtener concretos de altas resistencia, haciendo uso de súper plastificantes y adiciones de microsílíce. La metodología seguida plantea optimizar la proporción de los agregados para obtener la menor cantidad de vacíos.

Entre algunas conclusiones se puede mencionar que (A) El concreto con aditivo súper plastificante con dosificación de 1.5% (del peso del cemento) reduce la cantidad de agua en 28%; (B) El peso unitario del concreto en estado fresco aumentó en 6% en el concreto con aditivo y aumenta en 10% en el concreto con aditivo más microsílíce; (C) El contenido de aire en el ensayo del concreto en estado fresco disminuyó en 34% en el concreto con aditivo y también disminuyó en 77% en el concreto con aditivo más microsílíce. El estudio aportó orientación en la parte metodológica a utilizar para poder desarrollar el diseño de mezcla.



4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Cemento

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material más resistente, está compuesto por dos materias primas principales, las cuales son extraídas ampliamente de la naturaleza: arcillas y calizas, las arcillas proveen de sílice y alúmina y las calizas de calcio. (Matallana Rodríguez, 2006).

4.2.2. Cemento portland

Es un producto de la calcinación de rocas calizas ya sea areniscas y arcillas que luego de este proceso obtenemos el Clinker para luego pulverizarlo y combinarlo con yeso para así obtener el cemento que se comporta como un aglomerante.

“Es un aglomerante hidrófilo, resulta de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcilla, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua se endurece adquiriendo propiedades resistentes” (Pasquel Carbajal, 2013).

“Producto que se obtiene por la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker”. (Rivera Lopez, 2001).

4.2.3. Producción del cemento portland

La producción del cemento portland comienza con dos ingredientes brutos básicos: un material calcáreo y otro arcilloso. El material calcáreo es un óxido de calcio, como piedra caliza, yeso o conchas de ostras. El material arcilloso es una combinación de silicio y aluminio que puede obtenerse a partir de arcilla, esquistos y escoria de hornos altos. Estos materiales se trituran y almacenan en silos. Los materiales en bruto, en las proporciones deseadas, pasan a través de una moledora, utilizándose un proceso de fabricación húmedo o seco. El material molido se almacena hasta



que puede enviarse al horno principal. Las cementeras modernas que utilizan un proceso seco emplean un ciclo de recuperación de calor para precalentar el material molido, mediante el gas de salida del horno principal. Además, algunas cementeras usan un horno instantáneo para calentar aún más los materiales. Tanto el precalentador como el horno instantáneo mejoran la eficiencia energética de la producción de cemento. En el horno principal, los materiales en bruto se funden a temperaturas de entre 1400°C y 1650°C (2500°F y 3000°F), lo que hace que estos materiales se transformen en Clinker de cemento. El Clinker se enfría a continuación y se almacena. El proceso final implica moler el Clinker para obtener un polvo fino. Durante el molido, se añade una pequeña cantidad de yeso para regular el tiempo de fraguado del cemento en el hormigón. El producto acabado puede almacenarse y transportarse a granel o en sacos. En Estados Unidos, un saco estándar de cemento contiene 94 libras, lo que es aproximadamente igual a 1 pie³ de cemento suelto recién empaquetado. El cemento se puede almacenar durante largos periodos de tiempo, siempre y cuando se mantenga seco. (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

4.2.4. Tipos de cemento portland

Las diferentes aplicaciones del hormigón requieren que se empleen cementos con distintas propiedades ver tabla No.1. Algunas aplicaciones requieren una rápida ganancia de resistencia para acelerar el proceso de construcción. El cemento se clasifica en cinco tipos estándar además de en otros tipos especiales.

Los cinco tipos estándar de cemento portland (Tipos I a V) especificados en la norma ASTM C150. Además de estos cinco tipos, puede añadirse agentes de aireación a los cementos de Tipo I, II y durante la fabricación, obteniendo los Tipos IA, HA y EIA, que presentan una mejor resistencia a la congelación y a la descongelación que los cementos no aireados. El uso de cementos aireados (Tipos IA, HA y EIA) ha disminuido debido a la mayor disponibilidad y a la más alta fiabilidad de los aditivos aireadores que pueden incluirse durante la mezcla del hormigón. La existencia de una especificación ASTM para un tipo de cemento no garantiza que



dicho cemento esté disponible. El cemento de Tipo I está ampliamente disponible y representa la mayor parte de la producción de cemento en Estados Unidos. El segundo tipo más comúnmente disponible es el de Tipo II. Pueden fabricarse cementos que satisfagan todos los requisitos de los Tipos I y II; estos cementos se designan con el nombre de Tipo I/II. El cemento de Tipo II representa aproximadamente un 4% de la producción de Estados Unidos. Debido a los requisitos de molido más estrictos del Tipo II, este cemento es más caro que el de Tipo I. La ganancia de resistencia del cemento de Tipo I puede acelerarse incrementando el contenido de cemento por unidad de volumen de hormigón, de modo que la selección de cemento de Tipo III se convierte en una cuestión de economía y disponibilidad. El cemento de Tipo IV puede fabricarse bajo pedido. Como se observa posteriormente la adición de ceniza en polvo a los cementos portland de Tipo I o II reduce el calor de hidratación, obteniéndose los beneficios del cemento de Tipo IV, pero con un coste inferior. El cemento de Tipo V solo se fabrica en lugares donde existe un grave problema con los sulfatos, (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

Tabla 1. Tipos y aplicaciones del cemento portland

Tipo	Nombre	Aplicación
I	Normal	Trabajo general con hormigón cuando no sean necesarias las propiedades de los otros tipos. Adecuado para suelos, estructuras de hormigón reforzado, pavimentos, etc.
II	Resistencia moderada a los sulfatos	Protección frente a una exposición moderada a los sulfatos, de 0,1- 0 ,2% de peso de sulfatos solubles en agua en suelos o 150-1.500 ppm de sulfato en agua (agua marina). Puede especificarse con un calor moderado de hidratación, lo que le hace adecuado para grandes muelles, grandes contrafuertes y muros de contención. El moderado calor de hidratación también es ventajoso a la hora de colocar el hormigón en regiones cálidas.
III	Alta resistencia inicial	Utilizado para la construcción rápida cuando es necesario eliminar los encofrados lo más deprisa posible, o cuando haya que poner en servicio la estructura lo antes posible. En ambientes fríos reduce el tiempo requerido para una curación controlada.
IV	Bajo calor de hidratación	Se utiliza cuando la masa de la estructura, como en el caso de las presas de gran tamaño, requiera un control cuidadoso del calor de hidratación.
V	Alta resistencia a los sulfatos	Protección frente a una exposición severa a sulfatos, de entre 0 ,2- 2 ,0% de peso de sulfatos solubles en agua para suelos, o de 1500-10,800 ppm de sulfatos en agua.

Fuente: (Mamlouk & Zaniewski, 2009)



4.2.5. Concreto con microsílíce

Las funciones de metales silíceos y ferro silíceos producen gases y vapores, que contienen micro partículas de sílice, que son recolectadas por los sistemas que impiden la contaminación ambiental en la industria siderúrgica. Estos contienen óxido de sílice (SiO_2) en grandes cantidades, que reaccionan con el cemento portland mejorando las características del gel y consecuentemente las del concreto. (Pasquel Carbajal, 2013).

4.2.6. Impacto Ambiental En La Producción De Cemento

Las principales emisiones de la producción del cemento son material particulado, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles, además del alto consumo energético (usualmente cubierto con carbón como fuente) que se da debido a las elevadas temperaturas que son necesarias en los hornos para que el proceso se lleve a cabo de la manera adecuada. La industria del cemento emite aproximadamente de 814-935 kg de dióxido de carbono por cada 1000 kg de cemento producido (B, O R, P R, R, & Meyer, 2007), de hecho a nivel global su producción es responsable del 5% de emisiones de dióxido de carbono (Ficem, 2013) razón por la cual las empresas concreteras buscan formas de hacer que su producción sea sostenible, utilizando combustibles alternos, mejorando procesos o buscando adiciones que generen buenas propiedades mecánicas disminuyendo la cantidad de cemento que se use en una mezcla de concreto.

Además, el material particulado también constituye un contaminante que se intenta controlar dentro de la industria, proveniente principalmente de los procesos de la explotación en las canteras, la producción de Clinker en todas sus fases desde la trituración hasta el enfriamiento, el almacenamiento y transporte del material. El control de este contaminante se realiza con el humedecimiento de los materiales, filtros de bolsas y ciclones. Parte de las partículas que se generan son sedimentables, es decir, mayores a 60 micras, por lo general son reincorporadas al



proceso, mientras que las que están entre 1 y 10 micras, las que son realmente nocivas para la salud de los seres humanos, se regulan por medio de sistemas de control de contaminación o simplemente se quedan en el medio ambiente.

Otra problemática alrededor de la producción de cemento es el gasto energético tan elevado, en Latinoamérica para el año 2011 en promedio se consumió en energía térmica 3623 MJ/ ton de Clinker adicionándole el consumo de energía eléctrica por la fabricación del cemento como tal, el cual es 107 kWh/ tonelada de cemento lo que se traduce en el uso masivo de combustibles fósiles y por tanto generación de más emisiones contaminantes. (Ficem, 2013).

4.2.7. Puzolana

Se trata de un material artificial o de origen natural que contiene sílice y alúmina reactiva, que en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en temperaturas normales para formar materiales que poseen propiedades cementantes y que en la mayoría de los casos proporcionan a la mezcla del concreto una mayor resistencia y mejores propiedades de trabajabilidad, es importante que el material silíceo sea altamente amorfo, puesto que si este es cristalino, tendrá una reactividad muy baja. Algunas puzolanas naturales mejoran su actividad cuando son calcinadas en rangos de temperatura de 550 a 1100 °C dependiendo del material. Sin embargo, este concepto no está enteramente comprendido, pero se tiene claro que la superficie específica y la composición química juegan un papel fundamental en la reacción que tendrá el material con el cemento. (Neville, 2013).

4.2.8. Diatomeas

La tierra de diatomea es un depósito geológico de micro - esqueletos fosilizados de numerosas especies de silíceos marinos y de organismos unicelulares de agua fresca (fitoplancton), particularmente diatomeas y otras algas. De este sedimento se extraen rocas que al molerse se consigue un polvo fino de color blanco-grisáceo



que contiene partículas porosas con ciertas propiedades abrasivas y con la habilidad de absorber lípidos tres o más veces la masa de su partícula.

La diatomea está formada en su mayor parte por sílice amorfa y por numerosos minerales entre macro elementos (Ca, P, Na, K, Mg) y micro elementos vestigiales, (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn), contaminantes (Al, Ba, Sr, Ti) y tóxicos (As, Pb, Cd, Hg, Cr, Sn) como se ilustra en la tabla No 2. Sin embargo, no todas las tierras son iguales varían en su composición mineral según sea la cantera de la cual provengan (Lartigue, 2004).

En Colombia el producto comercial es Diatiovny® elaborado a partir de *Aulacoseira granulita*, perteneciente a las diatomeas de agua dulce. Es de tipo navícula (en forma de canoa) que incluye individuos con válvulas lanceoladas, estriadas transversalmente en la zona media, en sentido opuesto a los polos (Es un producto de bio-insumo agrícola según resolución ICA 375/04. 2007)

Tabla 2 Composición Diatiovny

Elemento	Porcentaje
Potasio	0,067
Calcio	0,12
Magnesio	0,019
Fosforo	0,02
Azufre	0,044
Cobre	0,0019
Hierro	0,5
Sodio	0,067
Zinc	0,004
Niquel	0,0005
Al ₂ O ₃	8,75
SiO ₂	90,07
K ₂ O	0,08
CaO	0,168
MgO	0,032
P ₂ O ₅	0,05
Total %	99,9934

Fuente: (Inalmet Ltda.)



4.2.9. Características de la diatomita

Las características que a continuación se señalan están en forma genérica, es decir características de la diatomita a nivel de regiones que presentan canteras de diatomita:

- El color por lo regular es blanco, aunque puede ser coloreadas.
- Las diatomitas presentan baja densidad, y alta porosidad.
- Las diatomeas presentan una escala de dureza según escala de dureza de Mohr de 1.5 a 2.0
- Las diatomitas presentan una capacidad de abrasión suave, y son resistentes a altas temperaturas.
- La diatomita presenta un área superficial de 10 a 30 m²/gr. La calcinación la reduce de 0.5 a 5.0 m²/gr.
- Las diatomeas presentan un índice de refracción de 1.40 a 1.46

(Ramírez, 2012).

4.2.10. Fraguado inicial

Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el ya mencionado calor de hidratación, que es consecuente a reacciones químicas. (Pasquel Carbajal, 2013).

4.2.11. Fraguado final

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura de gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas. (Pasquel Carbajal, 2013).



4.2.12. Agregados

Son materiales inertes que intervienen en el concreto, estos pueden ser obtenidos en forma natural o artificial, material aglomerado por la pasta de cemento y agua.

“Se define los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupa alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total; la denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características físicas afectan notablemente el producto resultante siendo en algunos casos tan importante como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares” (Pasquel Carbajal, 2013).

Los agregados empleados en la preparación de los concretos de peso normal (2200 a 2500 Kg/cm³) deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM C-33, si se emplea el agregado integral denominado “Concreto” deberá cumplir con lo indicado en el acápite 3.2.12 de la Norma Técnica E-060. (Rivera lopez, 2001).

4.2.13. Agregado fino

Se define como agregado fino aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la Norma técnica colombiana (NTC 174). (Rivera lopez, 2001).

4.2.14. Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz 4.75 mm (N°04) y cumple los límites establecidos en la Norma técnica colombiana (NTC 174). El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida o chancada, agregados metálicos naturales o artificiales, el agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa. (Rivera lopez, 2001).



4.2.15. Análisis granulométrico

La granulometría viene a ser la determinación en forma indirecta del tamaño de las partículas, el cual consiste en tamizarlas por una serie de mallas estándares de aberturas conocidas y luego proceder a pesar los materiales retenidos en porcentaje con respecto al peso total, a todo este proceso es lo que se le llama análisis granulométrico, y que viene a ser la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas. (Pasquel Carbajal, 2013).

4.2.16. Tamaño máximo de las partículas

Se define como el menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado. Se define operativamente como Tamaño Máximo Nominal el correspondiente al menor tamiz que produce el primer retenido.

“Es un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo nominal efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal; el primero identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de esta TMN es necesario cuando se analiza gradualmente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el TMN disponible en el depósito en estudio, y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación de concreto”. (Jaramillo, 2012).

4.2.17. Diseño de mezclas

“El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y practica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de manera más efectiva los requerimientos particulares del proyecto constructivo. Cuando se refieren a mezclas normales lo hacen a concretos con densidades entre 2300 a 2400 Kg/m³ y resistencias máximas del orden de 350 a 400 Kg. /cm², que en la actualidad no



son difíciles de lograr si se optimizan adecuadamente todos los parámetros”. (Pasquel Carbajal, 2013).

4.2.18. Resistencia a la compresión

La prueba de la resistencia a la compresión es la que comúnmente más se efectúa con el hormigón endurecido. La resistencia a la compresión es uno de los principales requisitos del diseño estructural para garantizar que la estructura será capaz de soportar la carga pretendida. La resistencia a la compresión aumenta a medida que se reduce la relación agua-materiales cementosos. Puesto que esta última relación está directamente relacionada con la calidad del hormigón, la resistencia a la compresión también se emplea como medida de calidad, para estimar la durabilidad y la resistencia a la meteorización. De este modo, en muchos casos, los diseñadores especifican una alta resistencia a la compresión para el hormigón con el fin de garantizar una alta calidad del mismo, incluso aunque esa resistencia no sea necesaria para el soporte estructural. La resistencia a la compresión f_c del hormigón de peso normal se encuentra entre 20 MPa y 40 MPa (3000 psi y 6000 psi). (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

4.2.19. Ensayos para la determinación de la resistencia del concreto

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad y de la cantidad de los componentes reactivos en la pasta y de su grado de hidratación. La resistencia en el concreto endurecido aumenta con el paso del tiempo, hasta llegar al punto de su máxima resistencia, esto cuando la temperatura y la humedad disponibles sean adecuadas. La diferencia en la resistencia del concreto para una edad relación agua-cemento puede resultar de los cambios del tamaño, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez del agregado, diferencias en los tipos y fuentes del material cementante, contenido de aire incluido (incorporado), la presencia de aditivos y la duración del curado. (Panarese, 2012).



4.2.20. Ensayo de la resistencia a la compresión

El procedimiento para realizar el ensayo a la resistencia a la compresión del concreto se encuentra establecido en la norma técnica colombiana (NTC) 121. 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. (Matallana Rodríguez, 2006).

4.2.21. Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. Se ha visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. (Pasquel Carbajal, 2013).



4.3. MARCO CONCEPTUAL

Agregado: Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto. (Rivera, 2001).

Agregado fino: Denominados como arenas, se definen como las partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras, o también como la porción de material que pasa la malla No. 4 y es retenido en la malla No. 200. (NTC 174)

Agregado grueso: El agregado grueso es conocido como grava, y su tamaño máximo tiene su fundamento en la economía; por lo general se requiere más agua y más cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El agregado grueso se define como las partículas mayores de 4.75 mm, es decir, el retenido en la malla No. 4. (NTC 174)

Agregado artificial: Por lo general, los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes. (Rivera, 2001, pág. 45).

Concreto: El mortero mezclado con agregado grueso (piedra), da como resultado el concreto u hormigón. (Rivera, 2001, pág. 41).

Cemento: Material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice de alúmina y óxido de hierro y que forma por la adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta que es capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. (Rivera, 2001, pág. 18).

Compresión: El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un



acortamiento del cuerpo en determinada dirección (coeficiente de Poisson). (Rivera, 2001, pág. 126).

Diatomeas: Las diatomeas son protistas, seres unicelulares. Ellas viven solitarias o forman largas cadenas, abanicos, zig zags o espirales contienen una pared celular muy distintiva, formada por dióxido de silicio hidratado. Esta pared celular se denomina frústula y suele estar constituida por dos mitades que reciben el nombre de válvulas. (Verger Salom, 2017).

Espécimen: Cilindro o viga de concreto, utilizado para realizar los ensayos de compresión y flexión. (Norma INV E-410-07).

Masa unitaria: Masa por unidad de volumen. (Rivera, 2001, pág. 66).

Microsílice: La microsílice es definida como un puzolánico producto de desecho de la industria de metales silicoferrosos, utilizada en el desarrollo de hormigones principalmente para mejorar las propiedades mecánicas y durabilidad del producto final. (Yepes & Calderón, 2014).

Mortero: El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso. (López, 2014).

Tamaño máximo del agregado: Es la abertura del tamiz de la malla cuadrada de menor tamaño por la cual pasa el 100% de la muestra de agregado. (Rivera, 2001, pág. 105).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

El departamento del Cesar se encuentra al norte del territorio colombiano como se indica en la ilustración No.1. Valledupar está ubicada al norte del Valle del Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, al margen de los ríos Cesar y Guatapurí, en la Costa Caribe colombiana.

Su territorio es llano y basculado hacia el sureste mediante una leve pendiente. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 246 m al Norte (Planta de Tratamiento de Agua Potable) y 150 m al Sur (Conjunto habitacional Casa campo), la altitud media es de 168 m (Plaza Alfonso López). Además de las enormes estructuras montañosas que la rodean (pico Bolívar y Colón) sobresalen en inmediaciones de la ciudad dos cerros, al Nororiente, el "Cicolac" con 330 msnm, el de "La Popa" con 310 msnm al oeste, y en especial el "Murillo" que con 1430 msnm constituye el cerro tutelar de la Ciudad.

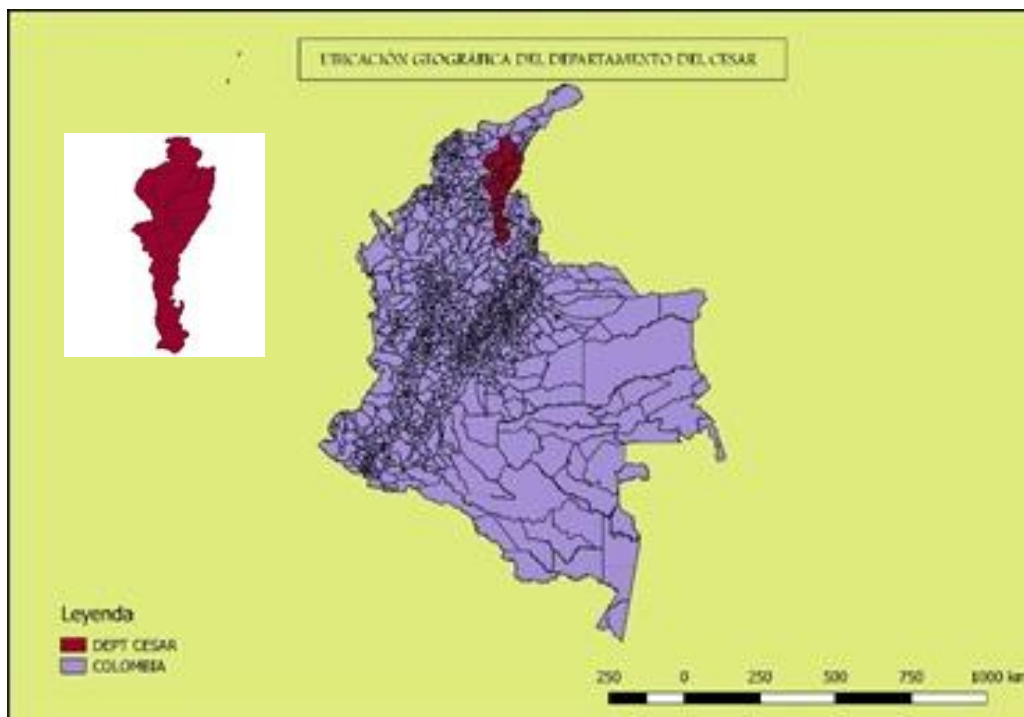


Ilustración 1 Ubicación geográfica departamento de Cesar

Fuente: Autores



El territorio del municipio de Valledupar es regado por los ríos Cesar, Badillo, Guatapurí (con su afluente el río Donachuí), Ariguaní, Cesarito, río Seco, Diluvio y Mariangola. El valle del río Cesar cubre la mayor parte de la superficie del municipio.

La ubicación del proyecto será la universidad popular del cesar, que es la sede que cuenta con el programa y el centro de estudio de ingeniería ambiental y sanitaria en Valledupar. La cual está ubicada en Diagonal 21 No. 29-56 barrio sabanas.



4.5. MARCO LEGAL

NTC 121: Cemento portland. Especificaciones físicas y mecánicas.

NTC 321: Cemento portland. Especificaciones químicas.

NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

NTC 673: Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.

NORMA ICONTEC 30: Clasificación y nomenclatura de los cementos portland de acuerdo con sus cualidades y usos.

NORMA ICONTEC 31: Definiciones relacionadas con la fabricación de los diferentes tipos de cementos

NORMA ICONTEC 176: Establece los métodos para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.

NORMA ICONTEC 237: Establece los métodos para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

ASTM C125: Terminología relacionada con el concreto y agregados del concreto.

ASTM C219: Terminología relacionada con el concreto y agregados del concreto.

ASTM C31: Esta norma explica los procedimientos para elaborar y curar las probetas cilíndricas y vigas, utilizando muestras representativas del hormigón fresco para la construcción de un proyecto.

ASTM C3: Práctica estándar para elaborar y curar probetas de ensayo de concreto en campo.

ASTM C39: Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.

ASTM C873: Método de prueba para resistencia a la compresión de cilindros de concreto fundido en el lugar en moldes cilíndricos.



ASTM C566: Método de ensayo para el contenido de humedad total del agregado por secado.



5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de enfoque cuantitativo, ya que analiza, describe y diseña el proceso de producción del concreto, identificando las variables que intervienen en la resistencia final del concreto preparado. Este objetivo requiere la medición de variables implicadas en el proceso de producción y la resistencia del concreto a la compresión y por esta razón requiere un enfoque cuantitativo.

También es una investigación de tipo experimental, ya que presenta durante el desarrollo algunas características, entre ellas muestra patrón, diferencia de porcentajes y resultados con los cuales se realiza un análisis para determinar si son óptimos o no; ya que los objetivos se encaminan a evaluar los efectos de la tierra de diatomeas utilizado como aditivo en el proceso de producción del concreto pretendiendo alguna demostración experimental

5.2. POBLACIÓN, OBJETO DE ESTUDIO Y MUESTRA

La muestra a estudiar en esta investigación proviene del producto Diatiovny (polvo fino de color blanco-grisáceo) de la empresa Inalmet con resolución ICA 375/04. 2007 y los agregados provenientes de la cantera “agregados Italia” y cemento Portland tipo 1 marca Argos, estas muestras van a ser estudiadas, preparadas y ensayadas en el laboratorio.

5.3. CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ESPECIFICA DEL POLVO TIERRA DE DIATOMEAS QUE SE UTILIZÓ COMO ADITIVO NATURAL

5.3.1. Análisis físico

% Humedad natural: Para determinar la humedad natural de la muestra se tomó un recipiente para establecer su peso, luego se tomó una pequeña muestra representativa de tierra de diatomeas y se puso en el horno por 24 horas a una temperatura de 105°C.

Se determinó el porcentaje de humedad de la tierra de diatomeas de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad N} = \frac{((D - B) - (E - B))}{(D - B)} * 100$$

Ecuación 1 Porcentaje de humedad natural diatomeas

$$\% \text{ Humedad Natural} = \frac{((405 - 205) - (400,75 - 205))}{(405 - 205)} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Natural} = 2,12$$

A= W espécimen: 200 gr.

B= W taza: 205 gr.

C= W espécimen seca horno: 195.75 gr.

D= Taza + Especimen: 205 gr + 200 gr = 405 gr.

E= Taza + Especimen seco: 205 gr + 195,75 gr = 400.75 gr.

RETENIDO EN LA MALLA #325: El factor que determina la finura de la diatomita comercial es la Norma ASTM C618 – 08. Se determinó el retenido en la malla #325 como se muestra en la ilustración N° 2 y se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Retenido malla \#325} = \frac{(W * 100\%)}{WTD}$$

Ecuación 2 Retenido malla #325

$$\text{Retenido malla \#325} = \frac{(20,9 * 100\%)}{100}$$

$$\text{Retenido malla \#325} = 20,9 \%$$

Taza de aluminio =12.85 gr.

W T.D espécimen = 100 gr.

W espécimen seca que paso por el tamiz = 20.9 gr.



Ilustración 2 Análisis físico diatomeas

Fuente: Autores



GRAVEDAD ESPECÍFICA: Se inició con la calibración del matraz con los siguientes pasos. Se limpió, se secó, se pesó y se registró la masa del matraz vacío en 5 ocasiones. Tomando un equilibrio para todas las mediciones de la masa como se observa en la ilustración No 3.

Se determinó y registro el promedio y la desviación estándar, se retiró el exceso de agua y se apuntó su temperatura. A continuación, en la tabla No. 3 se registraron los pesos correspondientes y la desviación estándar.

Tabla 3 Gravedad específica, calibración matraz

Cantidad de agua (ml)	T (°C)	W del Matraz (gr)	W del Matraz Con agua (gr)	Volumen Aparente (ml)	Volumen Real (ml)	Densidad Base de T (g/cm3)	Valor Corregido (ml)
500	25.9	148.68	640	500	491.31	0.996	489.34
500	25	148.25	645	500	496.75	0.997	495.25
500	34	148.52	640	500	491.48	0.994	488.53
500	32.2	148.31	645	500	496.69	0.995	494.20
500	31	148.12	640	500	491.88	0.995	489.42
PROMEDIO							491.34
DESVIACIÓN ESTÁNDAR							3.12

Fuente: Autores

Se calculó la gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo teniendo como referencia la norma ASTM-D854.

$$G_t = \frac{M_s}{(M_{pwt} - (M_{pwst} - M_s))}$$

Ecuación 3 Gravedad específica

$$G_e = \frac{43,54}{(640,03 - (670 - 43,54))}$$

$$G_t = 3,20$$

Ge: Gravedad específica

Ms: Masa de los sólidos del suelo seco del horno (g)= 43,54

Mpwt: Masa del matraz y agua a la temperatura (g)= 640,03

Mpwst: Masa del matraz, agua y sólidos del suelo a la temperatura de ensayo (g)= 670



Ilustración 3 Gravedad específica diatomeas

Fuente: Autores

5.3.2. Análisis químico

El análisis químico es del laboratorio AGRILAB servicios ambientales y agrícolas que se encuentra en la ciudad de Bogotá en la cual cuantificaron el porcentaje de aluminio, silicio y humedad como se muestra en la ilustración No 4.

Estos fueron suministrados por la empresa Inalmet quien fue el proveedor del producto. Ver anexo No 1. Ficha de resultados del Análisis químico de la tierra de diatomeas.

Elemento	Expresión	Resultados	Unidades	Método Analítico
- ALUMINIO TOTAL	Al	1,38	%	(ABS. ATÓMICA) MET. INTERNO
- SILICIO TOTAL	SiO ₂	93,9	%	(ABS. ATÓMICA) MET. INTERNO
- HUMEDAD		2,10	%	(GRAVIMÉTRICO) MET. INTERNO

Ilustración 4 Resultados de Análisis Químico

Fuente: Autores

5.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se realizó con el fin de conocer la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen los agregados para ello se seleccionó una muestra representativa del mismo. La cual consiste en hacer pasar la muestra por una serie de tamices que deben ajustarse según a la norma NTC 32

5.4.1. Agregado fino

Se tomó una muestra de arena (Ilustración No 5), aproximadamente 30Kg y se procedió a cuartear en partes iguales para así tomar una muestra representativa y hacer las pruebas pertinentes % de humedad, % de absorción, masa unitaria suelta y compacta.



Ilustración 5 Muestra agregado fino
Fuente: Autores

Para el porcentaje de humedad se tomó una muestra representativa de la cual se registró su peso y se llevó a la estufa por un tiempo aproximado de 6 horas, después de este tiempo se registró nuevamente su peso para así obtener su porcentaje de humedad. Ver Tabla No 4 Porcentaje de Humedad.

Tabla 4 Porcentaje de Humedad

DATOS (% DE HUMEDAD NATURAL)	GRAMOS (gr)
1/4 DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA (húmeda) Peso H	210,90
PESO DEL RECIPIENTE SECO (30 mt en el horno)	86,60
MUESTRA SECA (después de 6 h en el horno) Peso S	207,80
PESO RECIPIENTE SECO + MUESTRA HUMEDAD	297,50
PESO RECIPIENTE SECO + MUESTRA SECA	294,40
% HUMEDAD A.F	1,47

Fuente: Autores

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{Peso H} - \text{Peso S})}{\text{Peso S}} * 100$$

Ecuación 4 Porcentaje de Humedad A. fino

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(210,90 - 207,80)}{207,80} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 1,47$$



En el porcentaje de absorción se tomó una muestra representativa de arena y se sumergió en agua durante 24 horas hasta que se saturara, luego de transcurrido el tiempo se expuso al sol y se registró su peso de nuevo en la balanza “superficialmente seca”, se llevó la muestra a la estufa por un tiempo de 6 horas, aproximadamente esto para evaporar el agua restante. Ver tabla No 5 Porcentaje de Absorción.

Tabla 5 Porcentaje de Absorción

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO (% ABS)	
DATOS	GRAMOS (gr)
PESO DE LA ARENA SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (S) (24h EN AGUA)	500,00
PESO DE LA MISMA ARENA, PERO SECA (A) (6H horno)	485,80
% DE ABSORCIÓN	2,92

Fuente: Autores

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(\text{Peso H} - \text{Peso S})}{\text{Peso S}} * 100$$

Ecuación 5 Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(500 - 485,80)}{485,80} * 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 2,92$$

Peso H = Peso de la arena saturada y superficialmente seca

Peso S = Peso de la misma arena, pero seco

Para calcular la masa unitaria suelta se utilizó el método del paleo teniendo en cuenta al momento de llenar cada uno de los recipientes la altura de llenado, ya que esta no puede ser superior a 5 cm porque esto podría variar un poco el peso de las muestras, se registraron tres muestras de peso (Ilustración No 6) y luego se promedió para así tener un peso promedio de la muestra como lo indica en la tabla No 6.



Ilustración 6 Masa unitaria suelta
Fuente: Autores

Tabla 6 Masa Unitaria suelta

MÉTODO DEL PALEO (MASA UNITARIA SUELTA)			
RECIPIENTE DEL A.F		MUESTRA	
PESO RECIPIENTE (kg) (Peso R)	7,33	TOMA + PESO RECIPIENTE	(kg)
ALTURA RECIPIENTE (cm)	30,80	TOMA 1	14,42
RADIO RECIPIENTE (cm)	7,55	TOMA 2	14,41
VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) (V)	5515,62	TOMA 3	14,50
MUS (kg/cm³)	0,001290	PROMEDIO (Peso P)	14,44
		MASA TOTAL MUESTRA	7,11
MUS (kg/m³)	1289,67		

Fuente: Autores

$$\text{MUS (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(\text{Peso P} - \text{Peso R})}{V}$$

Ecuación 6 Masa unitaria suelta

$$\text{MUS (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(14,44 - 7,33)}{5515,62}$$

$$\text{MUS (kg/cm}^3\text{)} = 0,001290$$

Para la masa unitaria compacta se utilizó el método del paleo para tomar cada peso de este se llenó en 3 partes aproximadamente iguales y en cada uno se realizaron 25 golpes muy suaves (Ilustración No 7) esto con el fin de compactar el agregado, se registraron 3 pesos y se promediaron como se muestra en la tabla No 7.



Ilustración 7 Masa Unitaria compacta
Fuente: Autores

Tabla 7 Masa Unitaria compacta

MÉTODO DEL PALEO (MASA UNITARIA COMPACTA)			
RECIPIENTE DEL A.F		MUESTRA	
PESO RECIPIENTE (kg) (Peso R)	7,33	TOMA + PESO RECIPIENTE	(kg)
ALTURA RECIPIENTE (cm)	30,80	TOMA 1	15,65
RADIO RECIPIENTE (cm)	7,55	TOMA 2	15,68
VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³) (V)	5515,62	TOMA 3	15,69
MUC (kg/cm³)	0,001513	PROMEDIO (Peso P)	15,67
		MASA TOTAL MUESTRA	8,34
MUC (kg/m³)	1512,67		

Fuente: Autores

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(\text{Peso P} - \text{Peso R})}{V}$$

Ecuación 7 Masa unitaria compacta

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(15,67 - 7,33)}{5515,62}$$

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = 0,001513$$

La densidad aparentemente seca, se calculó basado en los parámetros de la NTC 237. Método Gravimétrico (Picnómetro) se llenó parcialmente el picnómetro con agua y se registró su peso. Luego se depositó 500 gr de arena saturada



superficialmente seca seguido esto se adicionó agua aproximadamente un 90 % de su capacidad, (ver ilustración No 8) para así agitar y eliminar burbujas, se registró de nuevo su peso y se dispuso a secar en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F), por un tiempo de 6 horas aproximadamente, pasado el tiempo se retiró del horno y se dejó enfriar al aire libre por tiempo de 1 hora finalmente se determinó su masa. Los datos de este proceso se registraron en la tabla No 8.

Tabla 8 Densidad aparentemente seca

Masa en el aire de la muestra seca al horno (A)	485,800
Masa del picnómetro lleno con agua (B)	711,100
Masa del picnómetro con muestra + agua hasta marca de calibración (C)	1015,100
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (S)	500,000
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA (g/cm³)	2,47
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA (kg/m³)	2472,38

Fuente: Autores

$$D_{as} = D_{agua}^1 \frac{A}{B + S - C}$$

Ecuación 8 Densidad aparentemente seca agregado fino

$$D_{as} = 0.9975 \frac{485.800}{711.100 + 500 - 1015.100}$$

$$D_{as} = 2.47$$

¹ Densidad del agua a temperatura 25°C



Ilustración 8 Densidad aparentemente seca
Fuente: Autores

El módulo de finura del agregado fino se determinó mediante la ecuación 9 el cual dio como resultado 3 lo que indica que es una arena mediana, como se encuentra en el rango de 2,90 a 3,20 se puede decir que es un agregado fino ligeramente grueso. Los análisis del resultado se encuentran en la tabla No 9.

Tabla 9 Granulometría agregado fino

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA A. FINO				
TAMIZ	MASA RETENIDA EN GRAMOS (gr)	% RETENIDO	% PASA	% RET. ACU
3/8"	0,00	0,00	100,000	0,00
#4	51,30	3,47	96,531	3,47
#8	118,10	7,99	88,545	11,45
#16	283,20	19,15	69,395	30,60
#30	498,80	33,73	35,666	64,33
#50	416,50	28,16	7,502	92,50
#100	80,40	5,44	2,066	97,93
#200	14,90	1,01	1,058	98,94
FONDO	15,65	1,06	0,000	100,00
TOTAL	1478,85	100,00	M.FINURA	3,00

Fuente: autores

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retenido acumulado (\#4, \#8, \#16, \#30, \#50 y \#100)}}{100}$$

Ecuación 9 Modulo de finura

$$MF = \frac{\Sigma \% (3,47 + 11,45 + 30,60 + 64,33 + 92,50 + 97,93)}{100}$$

$$MF = 3$$

Ya realizado el tamizado (ver ilustración No.9) y con el resultado de la granulometría del agregado fino se comparó con la norma NTC 174. Se observó que en el tamiz #50 no cumplió como se especifica en la tabla No.10. Así que se procedió hacer una optimización por el método RNL pero antes se debe conocer también la granulometría del agregado grueso.



Ilustración 9 Tamizado agregado fino
Fuente: Autores

Tabla 10 Recomendaciones A.F. NTC 174

RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS A. FINO NTC (174)				
TAMIZ PULGADAS	LIMITE INFERIOR	G.A.C (% que pasa)	LIMITE SUPERIOR	VERIFICACIÓN
3/8"	100,00	100,000	100	CUMPLE
#4	95,00	96,531	100	CUMPLE
#8	80,00	88,545	100	CUMPLE
#16	50,00	69,395	85	CUMPLE
#30	25,00	35,666	60	CUMPLE
#50	10,00	7,502	30	FALSO
#100	2,00	2,066	10	CUMPLE

Fuente: Autores

Se determinó la curva de granulometría del agregado fino como se muestra en la ilustración No.10 esto para tener una mejor comprensión e interpretación de los datos.

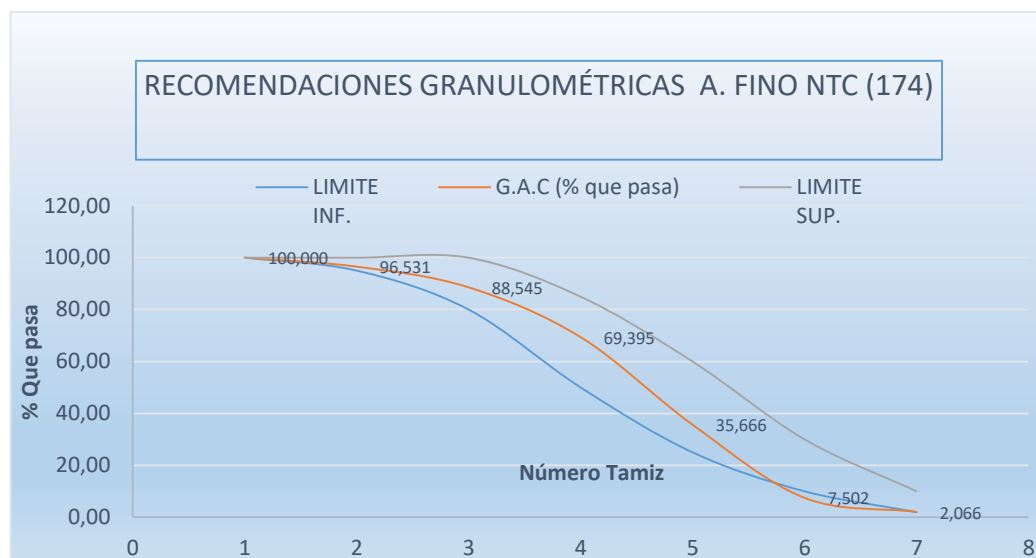


Ilustración 10 Curva granulométrica Agregado fino

Fuente: Autores

5.4.2. Granulometría de agregado grueso

Al igual que para la arena, para la grava también se realizaron las pruebas pertinentes siguiendo los procedimientos para % de humedad como indica la tabla No 11, % de absorción, masa unitaria suelta, masa unitaria compacta también se obtuvo el tamaño máximo, el cual nos indica el tamaño más grande que se tiene dentro del agregado y el tamaño máximo nominal que indica el tamaño promedio más grande de las partículas que hay dentro del agregado.

Tabla 11 Porcentaje de humedad grava

DATOS (% DE HUMEDAD NATURAL)	GRAMOS (gr)
1/4 DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA (húmeda) Peso H	527,90
PESO DEL RECIPIENTE SECO (30 mit en el horno)	88,70
MUESTRA SECA (después de 6 h en el horno) Peso S	525,40
PESO RECIPIENTE SECO + MUESTRA HUMEDAD	616,60
PESO RECIPIENTE SECO + MUESTRA SECA	614,10
% HUMEDAD A.G	0,47

Fuente: autores



$$\% \text{ Humedad natural} = \frac{(\text{Peso H} - \text{Peso S})}{\text{Peso S}} * 100$$

Ecuación 10 Humedad natural grava

$$\% \text{ Humedad natural} = \frac{(527,90 - 525,40)}{525,40} * 100$$

$$\% \text{ Humedad natural} = 0,47$$

En el porcentaje de absorción se tomó una muestra representativa de grava y se sumergió en agua durante 24 horas hasta que se saturara, transcurrido este tiempo se expuso al sol y se registró su peso de nuevo en la balanza “superficialmente seca”, se llevó la muestra a la estufa por un tiempo de 6 horas aproximadamente y se registró su peso nuevamente. Ver tabla No12.

Tabla 12 Porcentaje de absorción grava

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (% ABS)	
DATOS	GRAMOS (gr)
PESO DE LA GRAVA SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA (24h EN AGUA) PesoSSS	1378,40
PESO DE LA MISMA GRAVA SECA (A) (6H horno) PesoS	1362,30
% DE ABSORCIÓN	1,18

Fuente: Autores

$$\% \text{ Absorción Grava} = \frac{(\text{PesoSSS} - \text{PesoS})}{\text{PesoS}} * 100$$

Ecuación 11 Absorción grava

$$\% \text{ Absorción Grava} = \frac{(1378,40 - 1362,30)}{1362,30} * 100$$

$$\% \text{ Absorción Grava} = 1,18$$

Para calcular la masa unitaria suelta (Ver Ilustración No 11) se utilizó el método del paleo teniendo en cuenta al momento de llenar cada uno de los recipientes la altura de llenado ya q esto podía variar un poco el peso de la muestra, se registraron tres pesos luego se promedió la muestra como lo indica en la tabla No 13.

Tabla 13 Masa Unitaria suelta, Grava

MÉTODO DEL PALEO (MASA UNITARIA SUELTA)			
RECIPIENTE DEL A.G		MUESTRA	
PESO RECIPIENTE (kg)	7,33	TOMA + PESO RECIPIENTE	(kg)
ALTURA RECIPIENTE (cm)	30,80	TOMA 1	15,38
RADIO RECIPIENTE (cm)	7,55	TOMA 2	15,40
VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	5515,62	TOMA 3	15,32
MUS (kg/cm³)	0,001457	PROMEDIO TOMAS	15,37
		MASA TOTAL MUESTRA	8,04
MUS (kg/m³)	1457,07		

Fuente: Autores



Ilustración 9 Masa Unitaria suelta

Fuente: Autores

La masa unitaria compacta se utilizó el método del paleo para tomar cada peso de este se llenó en 3 partes aproximadamente iguales y en cada uno se le realizaron 25 golpes muy suaves esto con el fin de compactar y mejorar el acomodamiento de las partículas aumentando así la masa unitaria del agregado, se registraron 3 pesos y se promedió como se muestra en la tabla No 14.



Tabla 14 Masa Unitaria Compacta, Grava

MÉTODO DEL PALEO (MASA UNITARIA COMPACTA)			
RECIPIENTE DEL A.G		MUESTRA	
PESO RECIPIENTE (kg) Peso R	7,33	TOMA + PESO RECIPIENTE	(kg)
ALTURA RECIPIENTE (cm)	30,80	TOMA 1	16,29
RADIO RECIPIENTE (cm)	7,55	TOMA 2	16,28
VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	5515,62	TOMA 3	16,29
MUC (kg/cm³)	0,001624	PROMEDIO (Peso P)	16,29
		MASA TOTAL MUESTRA	8,96
MUC (kg/m³)	1623,87		

Fuente: Autores

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(\text{Peso P} - \text{Peso R})}{V}$$

Ecuación 12 Masa unitaria compacta

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = \frac{(16,29 - 7,33)}{5515,62}$$

$$\text{MUC (kg/cm}^3\text{)} = 0,001624$$

En los resultados de la densidad aparentemente seca, se utilizó una muestra representativa de grava, se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110°C, aproximadamente por 6 horas luego se dejó enfriar al aire libre entre 1 a 3 horas, pasado este tiempo se sumergió el agregado en agua durante un período de 24 horas, posteriormente se retiró la muestra del agua se fijó su masa en la condición saturada y superficialmente seca. Después se determinó su masa en aire, e inmediatamente se colocó la muestra en un contenedor o rejilla y nuevamente se decretó su masa aparente en agua. Por último, se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110°C por 6 horas, se dejó enfriar la muestra al aire libre y se registró su masa nuevamente como indica la tabla No 15.



Tabla 15 Densidad aparentemente seca grava

masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (A)	1362,300
masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (B)	1378,400
masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (C)	860,000
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA (g/cm³)	2,62
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA (kg/m³)	2621,32

Fuente: Autores

$$D_{as} = D_{agua} \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 13 Densidad aparentemente seca grava

$$D_{as} = 0,9975 \frac{1362,300}{1378 - 860}$$

$$D_{as} = 2,62$$

Los resultados de la granulometría del agregado grueso o grava se muestran en la tabla No 16 en la cual se reflejó los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices, ver (ilustración No.12) ya con estos se graficó (ver ilustración No.13) para así tener una mayor comprensión de los resultados.

Tabla 16 Resultados granulometría Grava

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA A. GRUESO				
TAMIZ	MASA RETENIDA EN (gr)	% RETENIDO	% PASA	% RET. ACU
1"	0,00	0,00	100,000	0,00
3/4"	0,00	0,00	100,000	0,00
1/2"	1945,20	30,16	69,839	30,16
3/8"	1462,50	22,68	47,163	52,84
#4	2175,90	33,74	13,425	86,58
#8	533,90	8,28	5,146	94,85
#16	134,40	2,08	3,062	96,94
#30	56,20	0,87	2,191	97,81
#50	53,80	0,83	1,357	98,64
#100	47,70	0,74	0,617	99,38
#200	39,80	0,62	0,000	100,00
FONDO		0,00	0,000	100,00
TOTAL	6449,40	100,00	TMN (pulg)	1/2

Fuente: Autores

Teniendo los resultados de la granulometría y la gráfica se evaluaron con la norma NTC 174 como se muestra en la tabla No.17 como resultado de estos análisis se obtuvo el TM, TMN y su distribución granulométrica como no cumple con las especificaciones de la norma se realizó la prueba RNL para obtener una combinación de agregados que el resultado garantice un mínimo de vacíos.

Tabla 17 Recomendaciones granulométricas NTC 174

RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS A. GRUESO NTC (174)				
TAMIZ PULGADAS	LIMITE INF.	G.A.C (% q. pasa)	LIMITE SUP.	VERIFICACIÓN
1"	-	100,000	-	CUMPLE
3/4"	100,00	100,000	100	CUMPLE
1/2"	90,00	69,839	100	FALSO
3/8"	40,00	47,163	70	CUMPLE
4	0,00	13,425	15	CUMPLE
8	0,00	5,146	5	FALSO
16	-	3,062	-	CUMPLE

Fuente: Autores



Ilustración 12 Agregado grueso
Fuente: Autores

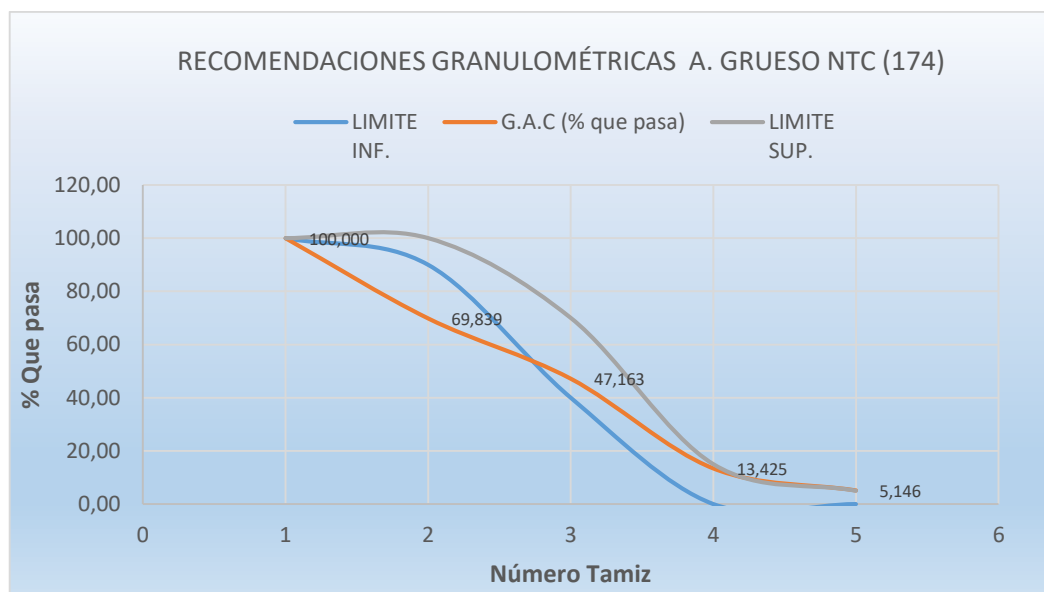


Ilustración 13 Curva granulométrica
Fuente: Autores

5.4.3. Determinación del porcentaje de diatomeas

Se realizaron cuatro mezclas de distintos porcentajes reemplazando el peso del cemento por la tierra de diatomeas como se muestra en la tabla No 18.

Tabla 18 Porcentajes de las muestras para la investigación

MUESTRAS	proporción N:1 (PATRÓN)	proporción N:2	proporción N:3	proporción N:4
Cemento	100%	95%	90%	85%
Diatomita	0%	5%	10%	15%
Total, Agregados	100%	100%	100%	100%

Fuente: Autores



5.4.4. Diseño de mezcla

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua, y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse (Rivera, 2013, pág. 169).

El diseño de la mezcla se realizó para una resistencia deseada de 24.6 Mpa (250.85 Kg/cm²), para determinar la dosificación de los materiales se efectuó un cambio al cemento por un porcentaje de diatomeas, como se muestra en la tabla No 18.

Para la realización del diseño de mezcla se siguieron una serie de pasos, igualmente se necesitaron unos datos de los materiales para dicho diseño los cuales se relacionan en las tablas No.19 a la No 22

Tabla 19 Datos del agregado grueso

A. GRUESO	DATOS	UNIDADES
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA	2621,32	Kg/m³
TAMAÑO MÁXIMO	$\frac{3}{4}$	Pulgada
TMN	$\frac{1}{2}$	Pulgada
% DE ABSORCIÓN	1,18	%
% DE HUMEDAD	0,47	%
M.U.S	1457,07	Kg/m³
M.U.C	1623,87	Kg/m³

Fuente: Autores



Tabla 20 Datos del agregado fino

A. FINO	DATOS	UNIDADES
DENSIDAD APARENTEMENTE SECA	2472,38	Kg/m ³
MODULO DE FINURA	3,00	
% DE ABSORCIÓN	2,92	%
% DE HUMEDAD	1,47	%
M.U.S	1289,67	Kg/m ³
M.U.C	1512,67	Kg/m ³

Fuente: Autores

Tabla 21 Datos agua/cemento

AGUA	DATOS	UNIDADES
DENSIDAD	998	Kg/m ³
CEMENTO		
DENSIDAD	3100	Kg/m ³
MASA UNITARIA SUELTA	1130	Kg/m ³

Fuente: Autores

Tabla 22 Datos cilindro

CILINDRO	DATOS	UNIDADES
RADIO	0,076	M
ALTURA	0,308	M
VOLUMEN	0,005516	m ³

Fuente: Autores



Paso 1. Selección De Asentamiento.

Se seleccionó un asentamiento de 50mm a 100mm el cual sirve para vigas, columnas, cementaciones, ya que se trabaja con una consistencia plástica y manual como indica la tabla No 23.

Tabla 23 selección de asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
MUY SECA	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
HUMEDA	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
MUY HÚMEDA	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
SUPER FLUIDA	más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente: (Rivera lopez, 2001)

Paso 2. Elección Tamaño Máximo Nominal.

El TMN del agregado grueso es de ½ pulgada según sus características para vigas y columnas como indica la tabla No 24.

Tabla 24 Valores recomendados de TMN según tipo de construcción

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

Fuente: (Rochel Awad, 1998)



Paso 3. Estimación Del Contenido De Aire.

Para el tamaño del agregado grueso ½ pulgada el porcentaje equivalente de aire atrapado seleccionado es de 2,5% como muestra la tabla No 25.

Tabla 25 Estimación del contenido de aire

3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE				
AGREGADO GRUESO	% APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	% PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICION		
		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	2,0	3,5	5,0	6,0
1	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	1,0	2,5	4,5	5,5
2	0,5	2,0	4,0	5,0
3	0,3	1,5	3,5	4,5
6	0,2	1,0	3,0	4,0

Fuente: (Rochel Awad, 1998)

Paso 4. Estimación De La Cantidad De Agua

La estimación de cantidad de agua para la dosificación se realizó por tabla la cual según el asentamiento y el tamaño máximo del agregado seleccionado fue de 221kg/m³ agua de mezclado según analizado de la tabla No. 26.

Tabla 26 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa en concreto sin aire incluido

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: (Rivera, 2001)

Paso 5. Determinación De La Resistencia De Diseño.

Teniendo en cuenta que la resistencia planificada para el proyecto es 24,6 MPa y según lo requerido para la resistencia es de 32,9 MPa. Ver tabla No 27.

$$F''_{cr} = F''_c + 8,3$$

Ecuación 14 Determinación de resistencia de diseño

$$F''_{cr} = 24,6 + 8,3$$

$$F''_{cr} = 32,9 \text{ MPa}$$

Tabla 27 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: (Rochel Awad, 1998)

Paso 6. Selección Relación A/C.

Teniendo en cuenta los valores de la tabla N.28 se procedió a calcular la relación agua/cemento.

Tabla 28 selección de relación agua/cemento

6 SELECCIÓN RELACIÓN A/C			
RELACIÓN AGUA -CEMENTO EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RELACIÓN AGUA-CEMENTO EN PESO		
Kg/cm ²	LIMITE SUPERIOR	LÍNEA MEDIA	LIMITE INF
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,70	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente: (Sánchez, 2001)

² Resistencia seleccionada a la compresión

³ Resistencia promedio Requerida a la compresión



Para calcular la relación agua/cemento fue necesario realizar una interpolación, ya que el rango de la resistencia a la compresión no se tenía. Teniendo así la relación agua/cemento en peso como se muestra en la tabla No 29.

Tabla 29 interpolación relación agua/cemento

6. INTERPOLACIÓN	
X	Y
315	0,44
340,43	0,41
350	0,40

Fuente: Autores

Paso 7. Cantidad De Cemento.

La cantidad de cemento sale de la división entre la relación agua/cemento y la estimación de la cantidad de agua. Ver tabla No 30.

Tabla 30 Cantidad de cemento

7 CANTIDAD DE CEMENTO		
CEMENTO ©	537,80	Kg/m3
VOLUMEN CEMENTO (VC)	0,173	m3/m3

Fuente: Autores

$$\text{cemento} = \frac{CA}{A/C}$$

Ecuación 15 Cantidad de cemento

$$\text{cemento} = \frac{221}{0,41}$$

$$\text{cemento} = 537,80$$

A/C = Relación agua/cemento

CA= Estimación de la cantidad de agua (kg/m3)



Paso 8. Verificaciones Especificaciones Granulométricas.

Se procedió a verificar las especificaciones granulométricas de los agregados grueso y fino como indica en la tabla N.31.

Tabla 31 Verificaciones y especificaciones granulométricas de los agregados

8. VERIFICACIÓN ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS A. GRUESO				
TAMIZ PULGADAS	LIMIT INF.	% QUE PASA	LIMIT SUP.	VERIFICACIÓN
1"	-	100,00	-	CUMPLE
3/4"	100,00	100,00	100	CUMPLE
1/2"	90,00	69,84	100	FALSO
3/8"	40,00	47,16	70	CUMPLE
4	0,00	13,42	15	CUMPLE
8	0,00	5,15	5	FALSO
16	-	3,06	-	CUMPLE

8. VERIFICACIÓN ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS A. FINO				
TAMIZ PULGADAS	LIMITE INF.	G.A.C (% que pasa)	LIMITE SUP.	VERIFICACIÓN
3/8"	100,00	100,00	100	CUMPLE
#4	95,00	96,53	100	CUMPLE
#8	80,00	88,55	100	CUMPLE
#16	50,00	69,40	85	CUMPLE
#30	25,00	35,67	60	CUMPLE
#50	10,00	7,50	30	FALSO
#100	2,00	2,07	10	CUMPLE

Fuente: Autores

Después de realizado la verificación se denoto que no cumple con algunos criterios y por lo tanto se efectuó la prueba RNL por el método gráfico teniendo así un nuevo porcentaje óptimo de los agregados como se indica en la tabla No 32.



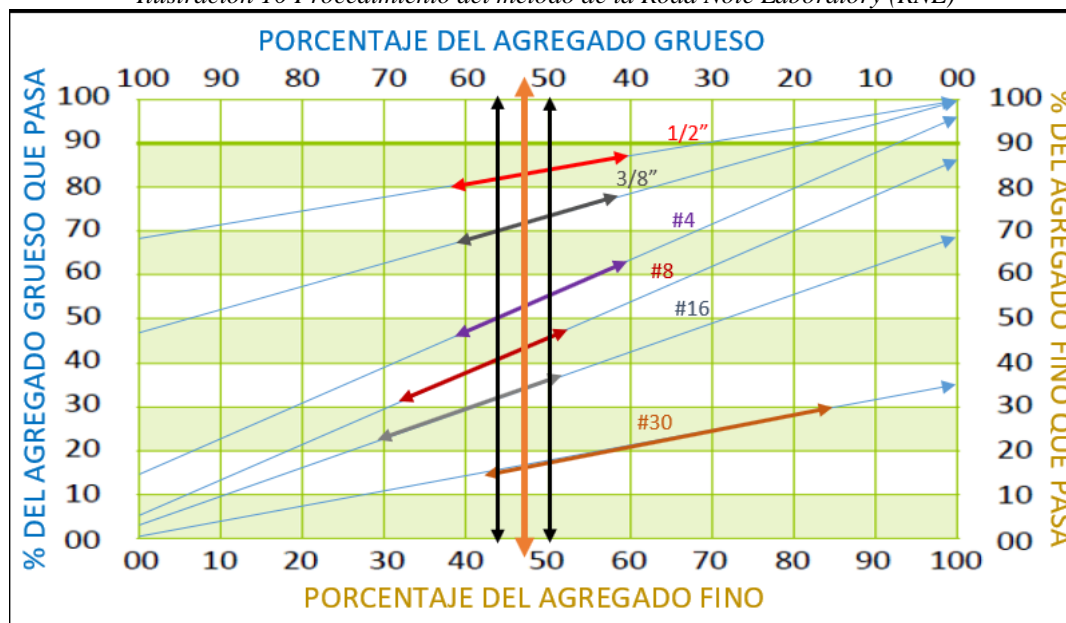
Tabla 32 Optimización de granulometría por método RNL

OPTIMIZACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA POR EL MÉTODO RNL (MÉTODO GRÁFICO)				
MÉTODO RNL - GRÁFICO PARA DETERMINAR EL MEJOR PORCENTAJE DE ARENA Y GRAVA. (Rango granulométrico TM 3/4")				
TAMIZ	A. GRUESO (% que pasa)	AGREGADO. FINO (% que pasa)	RANGO GRANULOMÉTRICO	
			LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
1 1/2"	100,00	100,00	100	100
1"	100,00	100,00	100	100
3/4"	100,00	100,00	100	100
1/2"	69,84	100,00	87	80
3/8"	47,16	100,00	78	68
#4	13,42	96,53	62	47
#8	5,15	88,55	48	32
#16	3,06	69,40	38	22
#30	0,00	35,67	30	15
#50	0,00	7,50	23	10
#100	0,00	2,07	18	7
% Grueso		53,28		
% Fino		46,72		

Fuente: Autores

Se dibujó un cuadro de 10 divisiones en ordenadas y 10 divisiones en abscisas, tal como se aprecia en la ilustración No 14.

Ilustración 10 Procedimiento del método de la Road Note Laboratory (RNL)



Fuente: Autores



- Se enumeraron los ejes de las ordenadas de abajo hacia arriba de 0 a 100 y los ejes de las abscisas, el inferior de 0 a 100 de izquierda a derecha y el superior de derecha a izquierda, de este modo cualquier valor de arriba sumado al correspondiente valor de abajo da como resultado 100; Donde en la parte superior e inferior se marcaron los porcentajes a usar de cada agregado y a la derecha e izquierda los porcentajes que pasan.
- Se une por una línea el porcentaje que pasa del agregado grueso a la izquierda del gráfico, con el porcentaje que pasa del agregado fino a la derecha, para los tamices correspondientes entre sí.
- Se marca la intersección de esta línea con sus límites superior e inferior, rango granulométrico correspondiente al tamiz. Se repite esto para todos los tamices.
- Se trazaron dos ejes verticales, un eje con el límite inferior más a la derecha y el otro con el límite superior más a la izquierda, que dieron el valor para calcular el porcentaje de los agregados.
- Estos dos ejes se prolongaron hasta la parte superior e inferior de la gráfica, obteniendo dos valores, que se promediaron, para conseguir el porcentaje a usar del agregado grueso y del agregado fino.

Paso 9. Densidad Aparente Promedio.

Se procedió a calcular la densidad aparente promedio mostrando los resultados en la tabla No 33.

$$DPRM = \frac{\% A FINO^4}{100} * D.asF^5 + \frac{\% A GRUESO^6}{100} * DasG^7$$

Ecuación 16 Densidad promedio

⁴ Porcentaje agregado fino

⁵ Densidad aparente seca agregado fino

⁶ Porcentaje agregado grueso

⁷ Densidad aparentemente seca agregado grueso



$$DPROM = \frac{46,72}{100} * 2472,38 + \frac{53,28}{100} * 2621,32$$

$$DPROM = \mathbf{2551,735}$$

$$WGRAVA = DPROM * VT * \frac{\% A GRUESO}{100}$$

Ecuación 17 Densidad promedio grava

$$WGRAVA = 2551,73 * 1 * \frac{53,28}{100}$$

$$WGRAVA = \mathbf{1359,56}$$

$$W ARENA = DPROM * VT * \frac{\% A FINO}{100}$$

Ecuación 18 Densidad promedio arena

$$W ARENA = 2551,73 * 1 * \frac{46,72}{100}$$

$$W ARENA = \mathbf{1192,18}$$

Tabla 33 Densidad aparente promedio

9 DENSIDAD APARENTE PROMEDIO		
Densidad promedio (D PROM)	2551,73	Kg/m3
Volumen total (VT)	1,00	M3
Densidad promedio grava (W GRAVA)	1359,56	Kg/m3
Densidad promedio arena (W ARENA)	1192,18	Kg/m3

Fuente: Autores



Paso 10. Ajuste Por Humedad De Los Agregados.

Se procedió hacer el ajuste por humedad de los agregados mostrando los resultados en la tabla No 34.

$$Mhgrava = WGRAVA * 1 + \frac{\% HUMEDAD}{100}$$

$$Mhgrava = 1359,56 * 1 + \frac{0,47}{100}$$
$$Mhgrava = \mathbf{1365,94}$$

$$Mharena = WARENA * 1 + \frac{\% HUMEDAD}{100}$$

$$Mharena = 1192,18 * 1 + \frac{1,47}{100}$$

$$Mharena = \mathbf{1209,70}$$

Tabla 34 Ajuste por humedad de los agregados

10 AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
Mh grava	1365,99	Kg/m3
Mh arena	1209,70	Kg/m3

Fuente: Autores

Agua en exceso

Se procedió hacer los cálculos para determinar el agua en exceso mostrando los resultados en la tabla No 35.

$$Grava = -WGRAVA * \frac{\% HUMEDAD\ grava}{100} + \frac{\% ABSORCIÓN\ grava}{100}$$

Ecuación 19 corrección de grava en exceso

$$Grava = -1359,56 * \frac{0,47}{100} + \frac{1,18}{100}$$

$$Grava = -22,51$$



$$\text{Arena} = -\text{WARENA} * \frac{\% \text{HUMEDAD arena}}{100} + \frac{\% \text{ABSORCIÓN arena}}{100}$$

Ecuación 20 corrección de arena en exceso

$$\text{Arena} = -1192,18 * \frac{1,47}{100} + \frac{2,92}{100}$$

$$\text{Arena} = -52,33$$

Tabla 35 Agua en exceso

Agua en exceso		
GRAVA	-22,51	Kg/m3
ARENA	-52,33	Kg/m3

Fuente: Autores

La corrección de grava y de arena según ecuaciones No 19 y 20 se toman negativas, ya que en ambos casos la absorción fue mayor que la humedad por eso en este caso se suman los excesos. Ver resultados en la tabla No 36.

Tabla 36 Grava + Arena en exceso

ARENA y GRAVA EN EXCESO	
-74,88	Kg/m3

Fuente: Autores

AJUSTE POR HUMEDAD

Tabla de datos por ajuste por humedad. Ver tabla No 37.

Tabla 37 Ajuste por humedad

AJUSTE POR HUMEDAD			
Material	Peso Seco Kg/m3	Peso Húmedo Kg/m3	Valor aprox a tomar
Cemento	537,80	537,80	538
Aire	0,00	0,00	0
Agua	221,00	295,88	296
Grava	1359,56	1365,99	1366
Arena	1192,18	1209,70	1210
TOTAL	3310,53	3409,37	3410

Fuente: Autores



Peso húmedo Agua = peso seco agua – aren y grava en exceso

Ecuación 21 ajuste de humedad agua

$$\text{Peso húmedo Agua} = 221 - (-74,88)$$

$$\text{Peso húmedo Agua} = 295,88$$

AJUSTE DE CEMENTO

Resultados del ajuste de cemento en la tabla No 38.

$$\text{ajuste de cemento} = \frac{\text{Peso húmedo agua}}{\text{relación agua cemento en peso}}$$

Ecuación 22 Ajuste cemento

$$\text{ajuste de cemento} = \frac{295,88}{0,41}$$

$$\text{ajuste de cemento} = 721$$

Tabla 38 Ajuste de cemento

AJUSTE DE CEMENTO	
CEMENTO	721

Fuente: Autores

Paso 11. Realización De Pruebas.

Tabla de datos de las pruebas a realizar. Ver tabla No 39.

Tabla 39 Realización de pruebas

12 REALIZACIÓN DE PRUEBAS				
PRUEBA DE MEZCLA	CANTIDAD	VOLUMEN Cm3	TOTAL, Cm3	TOTAL, M3
CILINDROS	2	5515,63	11031,27	
	DESPERDICIO	5	551,56	
TOTAL			11582,83	0,011583

Fuente: Autores

Se tomó el valor aproximado en el ajuste por humedad “tabla No 37” y se multiplicó por el total de un m3 contando con la pérdida de un 5% en la fundición con el fin de que no hiciera falta en el llenado del cilindro.



Cantidad de arena kg = ajuste por humedad arena * total metro cubico

Ecuación 23 Cantidad de arena para 2 cilindros

$$\text{Cantidad de arena kg} = 1210 * 0,011583$$

$$\text{Cantidad de arena kg} = 14,01$$

Para la cantidad de agua y grava se utilizó la misma ecuación reemplazando los valores correspondientes de cada uno en el ajuste aproximado por humedad estos resultados fueron para dos cilindros.

Cantidad de cemento kg = ajuste cemento * total metro cubico

Ecuación 24 Cantidad de cemento en kg

$$\text{cantidad de cemento kg} = 721 * 0,011583$$

$$\text{cantidad de cemento kg} = 8,34$$

El material total utilizado en Kg para cada fundición se muestra en la tabla No 40.

Tabla 40 Cantidad de material

Cantidades De Material A Utilizar En La Prueba.		
COLUMNA	PROPORCIÓN	CANTIDAD KG.
AGUA	0,41	3,43
CEMENTO	1,00	8,34
ARENA	1,68	14,01
GRAVA	1,90	15,82

Fuente: Autores

$$\text{Proporción agua} = \frac{\text{peso húmedo agua}}{\text{ajuste cemento}}$$

Ecuación 25 Proporción agua

$$\text{Proporción agua} = \frac{295,88}{721}$$

$$\text{Proporción agua} = 0,41$$

$$\text{Proporción grava} = \frac{\text{peso húmedo grava}}{\text{ajuste cemento}}$$

Ecuación 26 Proporción grava



$$\text{Proporción grava} = \frac{1362,99}{721}$$

$$\text{Proporción grava} = 1,90$$

$$\text{Proporción arena} = \frac{\text{peso húmedo arena}}{\text{ajuste cemento}}$$

Ecuación 27 Proporción arena

$$\text{Proporción arena} = \frac{1209,71}{721}$$

$$\text{Proporción arena} = 1,68$$

Peso de materiales para la prueba

El peso de los materiales ver (tabla No 41) que se utilizaron para la preparación de la mezcla fueron los siguientes:

Tabla 41 Peso de materiales para la prueba

ADITIVO	PATRÓN	5%	10%	15%	TOTAL
CEMENTO (Kg)	8,34	7,92	7,51	7,09	30,86
DIATOMEAS (Kg)	0,00	0,42	0,83	1,25	2,50
TOTAL	8,34	8,34	8,34	8,34	
ARENA	14,01	14,01	14,01	14,01	56,05
GRAVA	15,82	15,82	15,82	15,82	63,29

Fuente: Autores

5.4.5. Preparación de mezcla, encofrado y ensayo de resistencia

La mezcla se preparó y se tomó el asentamiento (ilustración No 15) con los pasos anteriores y con los porcentajes de tierra de diatomeas correspondientes sabiendo así la cantidad de material que se utilizó en cada fundición.



Ilustración 11 Asentamiento

Fuente: autores

Después de realizar la fundición y el encofrado de cada uno de los cilindros “8” se dejaron en un proceso de fraguado esto con el fin de buscar el endurecimiento del cilindro por un tiempo de 24 horas (ilustración No 16) pasado este tiempo se desencofraron y se sumergieron para el proceso de curado o hidratación del cemento, para la prueba de resistencia se dispuso por 28 días, luego se falló para determinar en cada una la resistencia a la compresión.



Ilustración 12 Cilindros

Fuente: Autores

Para resaltar la falla se realizó en una maquina con una velocidad constante de fuerza (ilustración No 17), esto con el fin de minimizar los errores en las fallas de compresión y que todos los cilindros tenían el mismo tiempo de fraguado y curado.



*Ilustración 13 fallas de cilindros a los 28 días
Fuente: Autores*

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos (Anexos 3 y 4), luego de realizar el ensayo de compresión (ASTM C 39 y ASTM C 31) a probetas de concreto a base de cemento portland tipo I con diferentes adiciones porcentuales de tierra de diatomeas

6.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LA DIATOMITA

Según la prueba fisicoquímica a la cual fue sometida la diatomita en laboratorio se pueden especificar los siguientes ítems tomando en consideración la norma ASTM C 618:

- Refiriéndose al porcentaje de humedad de la diatomita, cuyo valor es de 2.12 %, (ver Anexo 1, ilustración 18) cumple con la norma, que establece como valor máximo del 3.00 %, lo que nos indica que la diatomita presenta un contenido de agua que no afecte al agua de diseño. Ver tabla No 42.

Tabla 42 Composición física de la diatomita

Composición Física		
Material	% de humedad	Según la Norma C618-03
Diatomita	2,12%	3,00 % Max

Fuente: Autores

- En lo que respecta a su composición química la diatomita estudiada presenta una suma de Dióxido de sílice (SiO_2) equivalente a 93,9 %, y según la norma ASTM C-618, este valor está por encima de lo mínimo que dicha norma especifica, por ende, la diatomita clasifica en la categoría (N) del tipo de puzolanas. Ver tabla No 43.



Nota: Es necesario recalcar que estos valores podrían variar si la puzolana empleada pasaría a un proceso de calcinación, pero según el objetivo principal de esta investigación se enfocó en el empleo de una puzolana natural y ver sus efectos en el concreto

Tabla 43 Composición química

Composición química		
Material	SiO ₂	Según la norma C618
Diatomita	93,9 %	70% Min

Fuente: Autores

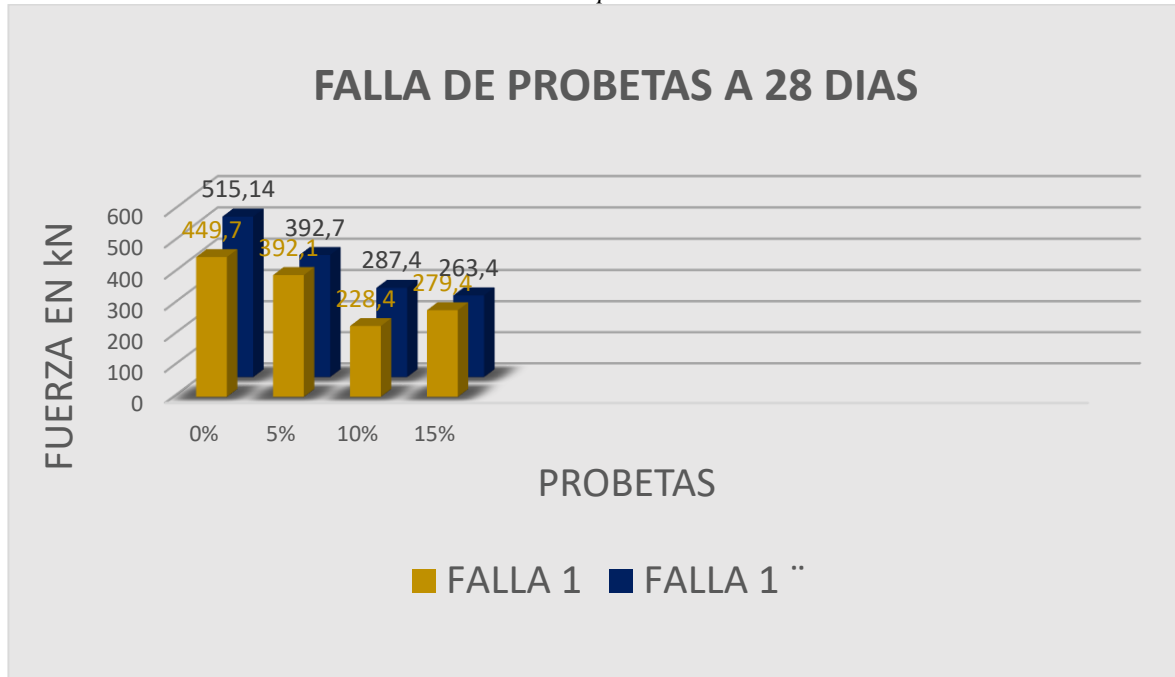
6.2. ANÁLISIS DE FINURA DE LA DIATOMITA

La diatomita presenta una finura del 20.9 % con una granulometría de material vía húmeda que es lo que la norma específica; dicho porcentaje pasante por el tamiz #325, cumple con la norma, cuyo valor máximo equivale al 34 %, con lo que nos indica que la diatomita empleada en la investigación mejoro la porosidad y la impermeabilidad del concreto.

6.3. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En la siguiente tabla No 44 y en el Anexo 3 y 4 (resultados fallas resistencia a la compresión), se presentan los resultados de resistencia a la compresión a 28 días de curado en función al porcentaje de adición de tierras de diatomeas en probetas cilíndricas a base de cemento portland tipo I, con relación a la muestra patrón.

Tabla 44 Falla de probetas a 28 días



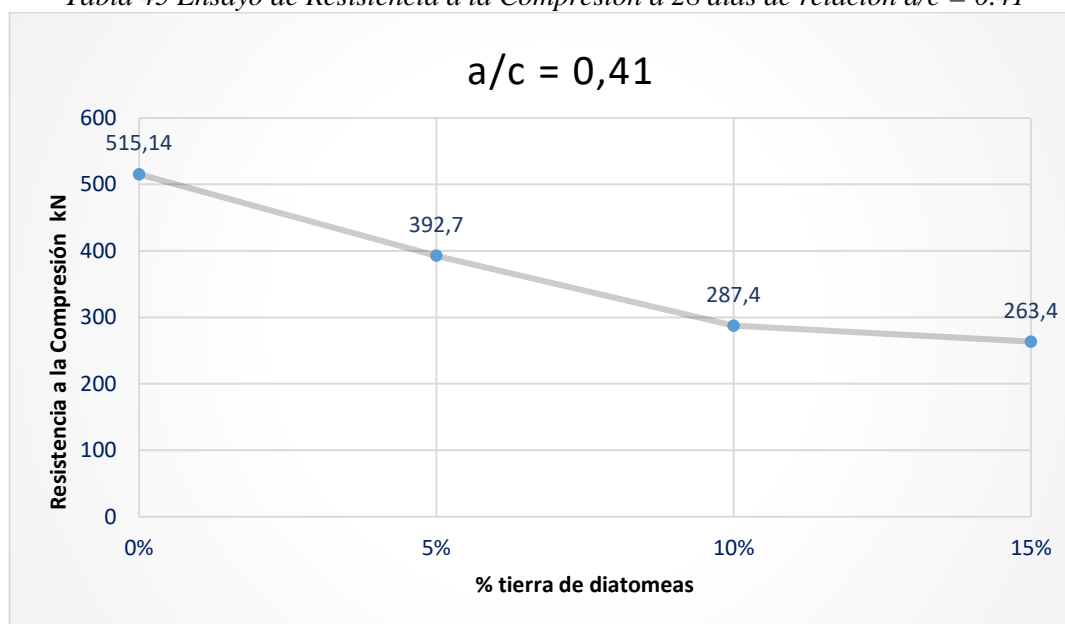
Fuente: Autores

En la tabla No 45. Se representa la relación agua/cemento $a/c = 0.41$ elaborado con cemento portland tipo I, a medida que se incrementa el porcentaje de 10% a 15% en peso de adición de tierras de diatomeas la resistencia a la compresión tiene una tendencia casi similar, pero a medida que disminuye el porcentaje de diatomita, hasta el 5%, observamos que aumenta la resistencia linealmente. Deduciendo que, a mayor cantidad de tierra de diatomeas, la relación agua/cemento aumenta.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una reacción o fraguado lento a diferencia del cemento que es rápida, es decir que la adición de 15% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.



Tabla 45 Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.41$



Fuente: Autores

6.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PATRÓN

La resistencia patrón se refiere a aquel valor de $F'c$ sin ningún tipo de adición y/o modificación en el cálculo del diseño de mezclas, viene a ser un parámetro para cuantificar la investigación. Los valores de $F'cr$ obtenidos nos ayudan a analizar y comparar con aquellos valores de $F'cr$ notificado o adicionados y así cuantificar nuestra investigación; es tanto así que tienen dichos valores y se dan en la siguiente tabla No 46. (ver ilustración 19) anexo No 2.

Tabla 46 Análisis de la resistencia patrón

Fuente: Autores

Edades (días)	$F'cr$ Patrón Sin Ninguna Incorporación de Diatomita Resistencia (Kg/cm ²)
A los 28 Días	449,7 kN
A los 28 Días	515,1 kN

6.5. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA DELIMITACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE DIATOMITA

La investigación realizó pruebas de delimitaciones en cuanto a la obtención del porcentaje óptimo de diatomita, la delimitación se realizó a fin de obtener la resistencia máxima con un porcentaje óptimo el cual fue el 5%, valor con el cual se alcanzó la máxima resistencia a compresión axial a los 28 días. Ver tabla No 47 y el Anexo No 2 que contiene las ilustraciones No 20,21, y 22.

Tabla 47 Resistencias con dosificaciones de diatomita

Resultados de la Limitación del porcentaje óptimo de resistencia	
% de Diatomita	Edades (28 Días)
5% de Diatomita / Peso de Cemento	392,7 (kN)
10% de Diatomita / Peso de Cemento	287,4 (kN)
15% de Diatomita / Peso de Cemento	263,4 (kN)

Fuente: Autores

6.6. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ÓPTIMA

La resistencia óptima es aquel valor de $F'c$ con una adición del 5 % en peso de bolsa de cemento que alcanzó la mayor resistencia, la valoración del comportamiento de la durabilidad de las mezclas de concreto, incluyendo además la mezcla control, fueron evaluados obteniéndose los siguientes resultados tabla No.48.

Tabla 46 Análisis de la resistencia óptima

Edades (días)	$F'cr$ Óptimo Con un 5% de Incorporación de Diatomita
A los 28 Días	392,7 kN
A los 28 Días	392,1 kN

Fuente: Autores

6.7. ANÁLISIS DE COMPARACIÓN CUANTITATIVO DE LA RESISTENCIA PATRÓN VS ÓPTIMA

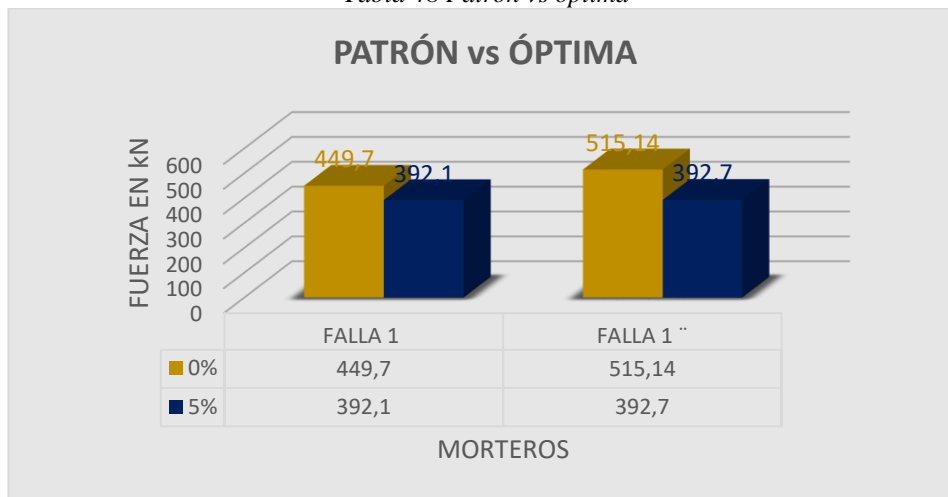
En el análisis comparativo de la resistencia patrón y la óptima, se verificó una reducción sustancial en la resistencia del concreto. La resistencia se cuantificó en una disminución de 122,4 kN, esto nos indica que esta clase de tierra de diatomeas no es altamente recomendable, ya que rebaja considerablemente su resistencia además que incrementa su impermeabilidad, puede utilizarse, pero no para concreto estructural o aquellos que devenguen demasiada resistencia, tabla No.49 y No.50.

Tabla 47 Resistencia patrón vs óptima.

Resistencia	F'cr Patrón Sin Ninguna Incorporación de Diatomita	F'cr Óptimo Con un 5% de Incorporación de Diatomita
A los 28 Días	515,1 kN	392,7 kN
A los 28 Días	449,7 kN	392,1 kN

Fuente: Autores

Tabla 48 Patrón vs óptima



Fuente: Autores

En el análisis de resultados se observó que la disminución de la resistencia fue irregular debido a que la diatomita retarda el proceso de fraguado del concreto y



esto se debe al grado de permeabilidad que posee la diatomeas. Es por esto que se recomienda el uso de la tierra de diatomeas como aditivo para la elaboración de concreto convencional el cual no requiera de una resistencia alta, ya que este no puede cumplir con lo requerido. Pero en otro tipo de usos el cual no necesite de estas condiciones contribuyendo así a reducir el uso del cemento.

6.8. BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA ADICIÓN DE SÍLICE AMORFA EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETOS CONVENCIONALES

Protección de la atmósfera

Considerando que la utilización de tierra de diatomeas bajaría la utilización del cemento en la producción de concreto logrando disminuir así las emisiones procedentes del horno y la utilización de residuos industriales originarios de plantas incineradoras y vertederos.

Reducciones de gases de efecto invernadero

Mediante la sustitución del clínker por adiciones minerales, como la tierra de diatomeas se reduce la formación de CO₂ de combustión de los combustibles fósiles, como el CO₂ generado de la descarbonatación de la materia prima (cemento). La descarbonatación tiene como objetivo reducir la dureza del agua mediante la eliminación de iones de calcio y de carbonato de manera que no se combinan entre sí para formar la cal.

Generación eléctrica

Los hornos de cemento generan un consumo eléctrico o térmico de energía, al reducir la producción de cemento se reduce el gasto de recursos naturales y la emisión global de CO₂.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En los casos de 10% y el 15% de reemplazo de cemento por tierra de diatomeas se dificulta la trabajabilidad de la mezcla de concreto, además de aumentar los tiempos de fraguado y disminuir el asentamiento, sin embargo la resistencia a la compresión se ve afectada en mayor medida con el uso de mayores fracciones de adición, dado que este es el parámetro más relevante, se determina que la adición óptima corresponde al porcentaje de 5%, con el cual se logra un equilibrio entre las propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido, logrando una resistencia de 392,7 kN, a la edad de curado de 28 días, presentando una variación negativa del 122,4 kN con respecto a la muestra patrón.
- Con los resultados de los ensayos de actividad puzolánica presentados se verifica que la diatomita no es un material puzolánico alternativo apto para la producción de concreto de alta resistencia.
- Para la fabricación de concreto la Diatomita se puede utilizar como un aditivo natural cumpliendo la función de impermeabilidad, ya que lo hace más durable y menos propenso al ataque de sulfatos y cloruros teniendo en cuenta el tiempo de fraguado, puesto que aumenta de manera directamente proporcional a la cantidad de aditivo usado.
- Se recomienda realizar un estudio posterior de viabilidad técnica y económica en la utilización de tierras de diatomeas rica en sílice, de manera que se pueda llevar el estudio a una mayor escala, es decir a nivel industrial, en el cual se tenga presente la utilización de equipos que permitan la optimización del proceso.



8. BIBLIOGRAFÍA

- B, M., O R, D., P R, B., R, D., & Meyer, L. A. (2007). *Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Ficem. (5 de 12 de 2013). *Federación Interamericana del Cemento*. Obtenido de <https://ficem.org/>
- Gutierrez de lopez, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Universidad Nacional De Colombia.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima - Perú: Fondo editorial.
- Inalmet Ltda. (s.f.). *Composicion Diatiovny*. Bogotá.
- Jaramillo, I. (2012). *MANUAL DE ANÁLISIS GRANULOMETRICO*. Santiago De Chile.
- Lartigue, E. C. (2004). *EVALUACIÓN INSECTICIDA Y ANTIHELMÍNTICA DE LA TIERRA DE DIATOMEA*. San Luis: FICES. UNSL.
- López, G. d. (2014). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Medellín.
- Mamlouk, M., & Zaniewski, J. (2009). *Materiales para Ingeniería Civil*.
- Manlouk, M. S. (2009). *Tipos y aplicaciones del cemento portland*.
- Matallana Rodríguez, R. (2006). *Fundamentos de concreto aplicados a la construcción*. Medellín.
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología Del Concreto*. Ciudad de México: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Oscar, G. C., & Fernández Robles, F. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México D.F.: Noriega editores.
- Panarese, W. C. (2012). *Fabricación de Concreto y Acabados*. *Staff-Portland Cement Association*.
- Pasquel Carbajal, E. (2013). *Nuevas Tecnologías en concreto*. Lima - Perú.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual del concreto estructural*. Caracas - Venezuela: Pag marketing soluciones.
- Ramírez, C. (2012). *Evaluación geológica de diatomitas en la Cuenca Ayacucho y sus implicancias económicas*. Ayacucho: Concytec.
- Rivera lopez, G. A. (2001). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad Del Cauca.
- Rivera, L. (2001). *Concreto Simple*. Cauca.
- Rochel Awad, R. (1998). *Hormigón reforzado*. Bogota.
- Sánchez, D. G. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Cauca: Bhandar Editores.



Verger Salom, E. (4 de 7 de 2017). *Cienciatoday*. Obtenido de <https://cienciatoday.com/diatomeas-importancia-aplicaciones/>

Yepes, F., & Calderón, F. (2014). *Diseño de hormigones de alto desempeño*. Lima.



ANEXOS

Anexo No 1. Ficha de resultados del Análisis químico de la Tierra de Diatomeas. (Porcentaje de aluminio, silicio y humedad).

Página 1 de 1

**Laboratorio de Análisis Químicos
Insumos Agrícolas**
Registrado ante el ICA según Resolución 004261 del 10 de Noviembre de 2011

REMITENTE	INALMET S.A.S NIT: 830068797-5		
Identificación Suministrada	SIN IDENTIFICACION		
Descripción Física	POLVO CAFÉ GLARO	No. de Laboratorio	F.M.47159-1
Fecha de Ingreso	16-oct-18	Fecha de Entrega	01-nov-18

ALCANCE DEL ANALISIS:
Cuantificar:
- Aluminio Total - Silicio Total - Humedad

RESULTADOS ANALITICOS

Elemento	Expresión	Resultados	Unidades	Método Analítico
- ALUMINIO TOTAL	Al	1,38	%	(ABS. ATÓMICA) MET. INTERNO
- SILICIO TOTAL	SiO ₂	93,9	%	(ABS. ATÓMICA) MET. INTERNO
- HUMEDAD		2,10	%	(GRAVIMÉTRICO) MET. INTERNO

OBSERVACIONES

NOTAS:

- Si usted tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre sus resultados, por favor comuníquese con el Director Técnico o con el Jefe de Laboratorio.
- El alcance de la responsabilidad de AGRILAB en el presente informe, se limita a la realización de los análisis de laboratorio relacionados y descritos anteriormente, más NO A GARANTIZAR los productos en su concepción, diseño, calidad y eficiencia.
- Los resultados analíticos consignados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otro (s) materiales de la misma procedencia.
- Las contramuestras de la muestra analizada se almacenarán por un periodo de tiempo de 6 meses, luego será desechada.

ATENTAMENTE,

Myriam Bendeck Lugo
MYRIAM BENDECK LUGO
Química Director Técnico PQ-1168

Mónica A. Cortés Jiménez
MÓNICA A. CORTÉS JIMÉNEZ
Química Coordinadora de Área PQ-4357

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA
Calle 79 B No. 70 - 16 Bogotá, D.C. PBX: 745 4697
Para quejas y reclamos comuníquese al E-mail: servicioalcliente@agrilab.com.co
www.agrilab.com.co

Ilustración 18 Resultados de Análisis Químico
Fuente: AGRILAB servicios ambientales y agrícolas

Anexo No 2. Resultados fallas resistencia a la compresión.

Ruptura del Cilindro Patrón



Ilustración 14 Cilindro Patrón. Fuente: Autores

Ruptura del Cilindro que contiene el 5% de diatomitas



Ilustración 15 Cilindros con adición de Diatomeas al 5%. Fuente: Autores

Ruptura del Cilindro que contiene el 10% de diatomitas

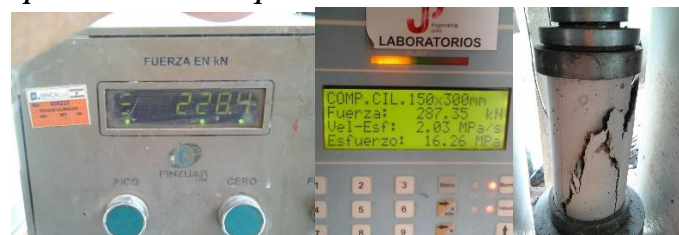


Ilustración 16 Cilindro con adición de Diatomeas al 10%. Fuente: Autores

Ruptura del Cilindro que contiene el 15% de diatomitas



Ilustración 17 Cilindro con adición de Diatomeas al 15%. Fuente: Autores



Anexo No 3. Certificado resistencia a la compresión.

A.G.N. Laboratorio de ingeniería civil.

A.G.N. LABORATORIO DE SUELO, ASFALTO Y CONCRETO CALLE 9 e No. 21 -123, URBANIZACION IRACAL VALLEDUPAR, CESAR. TEL. 3114172881	INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO NORMAS DE ENSAYO L.N.V. E-10 EQUIVALENTES : ASTM C 39, ASHTO T 22, INCONTEC 675													
NOMBRE DEL CLIENTE : CARLOS OVALLE Y ALFREDO CHINCHILLA GRAVA: EL DORAO DIRECCION DEL CLIENTE: VALLEDUPAR ARENA: RIO BAOILLO P.S.I. 4000 OBRA Y LOCALIZACION: PROYECTO DE GRADO CEMENTO: ARGOS Mpa 28,0 FECHA: 09/12/2019 Kg/cm2 280														
CILINDRO No	ESTRUCTURA Y LOCALIZACION	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD (Dias)	RESISTENCIA ESPECIFICADA-PSI	ASENTAMIENTO REQUERIDO	LECTURA DEL ENSAYO (psi)	RESISTENCIA		PORCENTAJE DE RESISTENCIA (PSI)	TIPO DE ROTURA	PROTECCION A LOS 28 DIAS		
								P.S.I.	Mpa			P.S.I.	Mpa	
1	MUESTRA PATRON	10-08-19	08-08-19	28	4000		449,7	3576	24,7	80,4	D	3577	24,7	250,4
2	CON ADICION DE DIATOMEAS AL 5%	10-08-19	08-08-19	28	4000		382,1	3118	21,5	78,0	B	3119	21,5	218,3
3	CON ADICION DE DIATOMEAS AL 10%	08-08-19	08-08-19	28	4000		279,5	2223	15,3	55,6	B	2223	15,3	155,6
4	CON ADICION DE DIATOMEAS AL 15%	08-08-19	08-08-19	28	4000		228,4	1816	12,5	45,4	B	1817	12,5	127,2
5														
6														

CLASIFICACION DE LA CONSISTENCIA DEL CONCRETO SEGUN EL ASENTAMIENTO(SLUMP) DEL MISMO			
TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO E
CONSISTENCIA	SECA	SEMI SECA	HUMEDA
ASENTAMIENTO	20 - 35	35 - 50	50 - 100

ANTONIO GARCIA M. INGENIERO	 ANTONIO GARCIA M. INGENIERO
--------------------------------	------------------------------------



Anexo No 4. Certificado resistencia a la compresión.

J.P. Ingeniería Civil.

INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MUESTRAS DE CONCRETO		JP INGENIERIA CIVIL											
NORMAS DE ENSAYO I.N.V. E - 410 - 13 EQUIVALENTES : ASTM C 39, AASHTO T 22, NTC 673		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS CARRERA 30 No 31 - 07 ALAMOS VALLEDUPAR TEL. 5884530 - CEL. 300 810 17 92											
SOLICITANTE DEL ENSAYO	ALFREDO LUIS CHINCHILLA												
DIRECCIÓN SOLICITANTE	DIAGONAL 21 # 29-56 SABANAS DEL VALLE												
OBRA Y LOCALIZACIÓN	INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN- UPC												
OBSERVACIONES: LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LOS 28 DIAS ES SOLO ILUSTRATIVA Y DA UNA IDEA DEL POSIBLE COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA. EN NINGÚN CASO DEBE SER USADA COMO PARÁMETRO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DEL ENSAYO.													
No.	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD días	DIAMETRO DE MUESTRA pul	RESISTENCIA ESPECIFICADA kg/cm ²	ESFUERZO APLICADO kN	RESISTENCIA OBTENIDA lb/pul ²	RESISTENCIA OBTENIDA kg/cm ²	ESTIMACIÓN A LOS 28 DÍAS lb/pul ²	ESTIMACIÓN A LOS 28 DÍAS kg/cm ²	Porcentaje
1	PATRON 5-10-15 %	UPC	14/11/2019	12/12/2019	28	6	210	515,1	4096,1	282,4	4096,1	282,4	134,5%
2	PATRON 5 %	UPC	14/11/2019	12/12/2019	28	6	210	392,7	3122,6	215,3	3122,6	215,3	102,5%
3	PATRON 10 %	UPC	14/11/2019	12/12/2019	28	6	210	287,4	2284,8	157,5	2284,8	157,5	75,0%
4	PATRON 15 %	UPC	14/11/2019	12/12/2019	28	6	210	263,4	2094,7	144,4	2094,7	144,4	68,8%
													-
													-
													-
													-
													-
													-

LABORATORIO DE SUELOS,
CONCRETOS Y ASFALTOS
NIT. 90881487-7
DOCUMENTO CONTROLADO

JOSÉ E. PALENCIA MORALES
GERENTE

1. Los informes de laboratorio sin firmas originales del GERENTE o LABORATORISTA y sello del laboratorio ("DOCUMENTO CONTROLADO"), no tienen validez.
 2. Los resultados contenidos en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.
 3. Este informe expresa fielmente los resultados obtenidos. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previo del laboratorio que lo emite.
 4. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los resultados.

JAIDER ZEQUEDA ROMERO
LABORATORISTA