

**CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO TIPO PIEDRA PÓMEZ PARA SU
USO EN CONCRETOS ESTRUCTURALES**

JONY ALEXANDER HERNÁNDEZ MEDINA

SERGIO SEBASTIÁN OSORIO VAGNER

CARLOS ANDRÉS COGOLLO DÍAZ

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

2015

**CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO TIPO PIEDRA PÓMEZ PARA SU USO
EN CONCRETOS ESTRUCTURALES**

JONY ALEXANDER HERNÁNDEZ MEDINA

SERGIO SEBASTIÁN OSORIO VAGNER

CARLOS ANDRÉS COGOLLO DÍAZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

Asesores Disciplinarios:

Ing. Alfonso Amézquita Nieto

Geol. Nydia Romero Buitrago

Asesor Metodológico:

Lic. Roy W. Morales Pérez

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C 2 DE JUNIO DEL 2015

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. ANTECEDENTES	12
3. HIPÓTESIS	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5. JUSTIFICACIÓN	17
6. MARCO CONCEPTUAL	18
6.2 MARCO JURÍDICO	25
6.3 MARCO HISTORICO	28
7. METODOLOGÍA	30
7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	30
7.1 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30
7.1.1 Variable dependiente	30
7.1.2 Variable independiente	30
7.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	31
7.2.1 Fase 1 Caracterización de materiales	31
7.2.2 Fase 2 Analizar la resistencia a la compresión	31
7.2.3 Fase 3 Resultados y recomendaciones	32
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
8.1 Fase I Selección de materiales.	33
8.2 Fase I Ensayos de los materiales	37
8.2.1 Agregado grueso:	37
8.2.4 Agregado fino Piedra Pómez:	44

8.3 Fase II Diseño de mezcla.	49
8.3.1 Selección del asentamiento	50
8.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado	50
8.3.3 Estimación del contenido de aire	50
8.3.4 Estimación del contenido de agua de mezclado	50
8.3.5 Determinación de la resistencia de diseño	50
8.3.7 Cálculo del contenido de cemento	51
8.3.8 Estimación de las proporciones de agregados	52
8.3.9 Ajuste a las mezclas de prueba	55
8.4 Fase II Elaboración del Concreto Hidráulico.	52
8.6 Fase II Ensayos de compresión.	53
8.7 Fase III Resultados y recomendaciones	54
8.7.1 Densidad de las muestras	54
8.7.2 Resistencias de las muestras	56
9. CONCLUSIONES	63
9.1 RECOMENDACIONES	64
10 REFERENCIAS	66
11 .GLOSARIO	68
12. ANEXOS	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de gradación para los agregados finos	21
Tabla 2. Granulometría Agregado Grueso	37
Tabla 3. Características Agregado Grueso	38
Tabla 4. Resultados Obtenidos ensayo de Gs y Absorción	40
Tabla 5. Valores tomados para diseño	40
Tabla 6. Densidad Suelta y Compacta de la Grava.....	41
Tabla 7. Granulometría Agregado Fino arena Aluvial	41
Tabla 8. Características Agregado Fino arena Aluvial	42
Tabla 9. Calculo de Gs.....	44
Tabla 10. Calculo densidad Arena Aluvial	44
Tabla 11. Granulometría Agregado Fino arena pómez.....	45
Tabla 12. Características Agregado Fino arena Piedra Pómez	45
Tabla 13. Calculo de Gs arena Pómez.....	48
Tabla 14. Calculo densidad Arena Pómez.....	49
Tabla 15. Cantidades de material para muestra control	56
Tabla 16. Total de cantidades de materiales necesarios para realizar todas las mezclas en sus diferentes proporciones	51
Tabla 17. Materiales necesarios	52
Tabla 18. Cronograma y cantidades de cilindros	53
Tabla 19. Datos Resistencia a Compresión Simple.....	54
Tabla 20. Cuadro resultados densidades promedio días 7 y 14.....	54
Tabla 21. Cuadro resultados densidades promedio días 21 y 28.....	54
Tabla 22. Promedios de las resistencias de las muestras en los días 7 y 14..	56
Tabla 23. Promedios de las resistencias de las muestras en los días 21 y 28	56
Tabla 24. Muestra 100% en los diferentes días.....	57
Tabla 25. Porcentaje de resistencia alcanzado en los diferentes días	60
Tabla 26. Resultados ensayo de Absorción en frio y caliente.....	60
Tabla 27 . Cronograma de Actividades	65

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Rangos de resistencia a la compresión para concretos ligeros	19
Gráfica 2. Porcentajes de cemento requerido para diferentes resistencias...	24
Gráfica 3. Curva granulométrica agregado grueso	38
Gráfica 4 Densidad Vs Días de curado.....	55
Gráfica 5 Resistencia Compresión Vs Días de curado	58
Gráfica 6 Resistencia a la Compresión Vs Densidad	59
Gráfica 7. Clasificación de los concretos livianos por densidad y resistencia	61
Gráfica 8. Relación entre la porosidad y resistencia a la compresión.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones de un cilindro de concreto	20
Figura 2. Tipos de falla	23
Figura 3. Arena Aluvial	33
Figura 4. Agregado Grueso	34
Figura 5. Cemento Utilizado.....	34
Figura 6. Piedra Pómez Explotada	35
Figura 7 Localización Geográfica Plancha 225	36
Figura 8. Mapa Ubicación política cantera.....	36
Figura 9. Piedra Pómez triturada	37

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN

Se habla convencionalmente que los concretos poseen una densidad de $\pm 2,4$ Ton/m³ y al ser este el material de preferencia para las construcciones implica de primera mano que toda edificación deba tener un gran peso por unidad de volumen, se ha estudiado con anterioridad la utilización de agregados livianos con un alto índice de porosidad para reducir la densidad de los concretos, como lo son las arcillas expandidas, escorias de alto horno, piedra pómez, poliestireno e inclusiones de aire, obteniendo concretos que poseen una densidad por mucho inferior a concreto convencional. Pero al igual se han visto disminuidas las propiedades mecánicas y de alta resistencia.

Siempre se ha investigado el uso de agregados “gruesos” como llenantes en el concreto ligero, puesto que estos ocupan la mayor parte del volumen dentro de la matriz cementicia. Anteriormente no se ha investigado el reemplazo de la parte “fina” dentro de dicho material. Por lo cual se propone que el agregado de piedra pómez sea triturado para su implementación como reemplazo de la arena típica dentro del concreto estructural y así disminuir significativamente la densidad sin comprometer las propiedades mecánicas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la rama estructural de la ingeniería civil se han estudiado diferentes materiales utilizados para la construcción de edificaciones de gran envergadura, como lo son los concretos, aceros, aluminios y mamposterías. Particularmente cuando se trata de edificaciones altas como rascacielos, el concreto ha presentado diversas falencias, dada su rigidez y alto peso lo que desfavorece a las construcciones, ya que las hace inseguras y susceptibles a los sismos. La disminución de las cargas muertas en los proyectos es un factor importante puesto que en promedio el 30% del costo en la construcción se utiliza solo en la cimentación.

En Colombia el uso de concretos ligeros se ha venido implementando como soluciones para requerimientos termo acústico especial, rellenos y recubrimientos, paneles, elementos prefabricados, losas de entrepiso, muros divisorios fundidos en sitio y concretos de nivelación de pisos. Pero hasta el momento no se han encontrado investigaciones para su uso como material de elementos estructurales o con capacidad de carga importantes dentro de las obras. Ya que estos concretos aligerados presentan diferentes beneficios no solo a nivel físico, y/o mecánico, en la disminución de costos de obra, tiempos de ejecución, rentabilidad, rapidez y puesta en sitio del material. Buscando la disminución de estas cargas se ha estudiado el uso de materiales ligeros como llenantes del concreto estructural pero su resistencia no ha alcanzado los estándares mínimos como materiales competentes.

Dentro de las investigaciones realizadas con piedra pómez no se ha evaluado la posibilidad de utilizar esta misma como agregado fino del concreto estructural, esperando que presente características únicas como agregado ligero, reemplazando la arena y disminuyendo la densidad de la masa monolítica, lo que favorecería considerablemente a la estructura permitiéndole obtener altos grados de resistencia sin comprometer su peso y mejorando su comportamiento ante futuros sismos. Teniendo en cuenta la cuestión anterior, la pregunta que se aborda en esta investigación es la siguiente:

¿Cómo se afecta la resistencia a la compresión del concreto estructural aligerado por la adición en diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino (arena aluvial) por agregado fino tipo piedra pómez?

2. ANTECEDENTES

En el marco de desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para los concretos se han desarrollado diferentes investigaciones alrededor del uso de piedra pómez, una de estas llevada a cabo por W.C. Tang, A. Nadeem, quienes realizaron una comparación de carbonatación del hormigón ligero y el hormigón de peso normal a niveles de curado similares. En la investigación aplicaron dos tipos de regímenes de curado; (1) curado en agua caliente a 60 ° C durante 3 días y (2) de curado normal en agua a 27 ° C durante 28 días. Todos con diferentes dosificaciones de ceniza volante, piedra pómez y humo de sílice, indicaron que el aumento en la temperatura del agua permitía un rápido desarrollo de la carbonatación a edades tempranas, dada esta aceleración era posible determinar el grado de carbonatación de concretos en edades futuras, lo que a su vez, permitió determinar que el humo de sílice y la piedra pómez no desarrollarían la carbonatación en un largo lapso de tiempo¹.

También se han desarrollado variadas investigaciones en este campo puesto que se desea aprovechar la cantidad de volumen ocupado por la piedra pómez entre otros agregados inorgánicos. Así González, Montañó y Castro, en el año 2012 adelantaron una investigación la cual consistió en adicionar un geopolímero compuesto por ceniza volante y piedra pómez, y efectuar la activación alcalina de uno de los aluminosilicatos del compuesto adicionado. Los agentes alcalinos que se emplearon fueron el hidróxido de sodio (NaOH) y silicato de sodio (Na₂SiO₃). La caracterización de los geopolímeros se hizo mediante los ensayos de espectroscopia de infrarrojo (IR) y difracción de rayos x (DRX). Una vez caracterizado el material se procedió a elaborar las muestras de concreto adicionando el geopolímero, fue analizado su comportamiento mecánico y se determinó su resistencia a los 7, 14 y 28 días. La sustitución del agregado fino por el geopolímero, mostró que el polímero inorgánico afecta convenientemente la resistencia del concreto aumentando su resistencia a la compresión, no obstante

¹LO, Tommy; TANG, W; NADEEM, A: Comparison of carbonation of lightweight concrete with normal weight concrete at similar strength levels, En: Department of Building and Construction, City University of Hong Kong. Vol.; 22. No 8 (Agosto 2008); p. 1648-1655.

la activación alcalina de los aluminosilicatos debe ser constantemente controlada, puesto que una activación excesiva perjudicaría la matriz cementicia².

De otra parte se llevó a cabo una investigación titulada “Dosificación de hormigones ligeros utilizando como árido la cascarilla de café”, el cual consiste en estandarizar un procedimiento para hallar la condición saturada y seca de agregados orgánicos para su implementación en hormigones ligeros. Se realizó el ensayo sobre muestras de cascarillas de café, estas mismas fueron expuestas a en una condición húmeda por 23hrs esperando que así su capacidad de absorción llegase al máximo, se procedió a retirarlas y mediante la maquina AMINCO – AIRE fueron secadas paulatinamente controlando su temperatura con un termómetro común, en el procedimiento se determinó el punto donde el agua libre en las cascarillas fue agotada cuando su temperatura empezó a aumentar sustancialmente, luego de esto fueron retiradas y puestas en un horno durante el mismo tiempo de saturación y se prosiguió con el ensayo estándar para la determinación de la humedad en el agregado. Se concluyó que el método utilizado produjo una disminución en la condición superficialmente seca del material lo que podría afectar el desarrollo del concreto puesto que se necesitaría un porcentaje mayor de agua, para que esta misma reaccione conjuntamente con el material cementante³.

De acuerdo a la investigación realizada por el Ing. Martínez, en la cual se trabajó con arcilla expandida térmicamente (ALIVEN y ALISUR) para la elaboración de concretos livianos, se estudiaron mezclas de concreto con relaciones a/mc de 0.67, 0.59, 0.55 y 0.52, obteniendo resistencias a la compresión entre 19.3 MPa y 25.2 MPa. Para los Concretos Livianos con ALISUR, se estudiaron hormigones con relación a/mc de 0.77 y 0.72, obteniendo resistencias a la compresión de 29 MPa y 37 MPa, respectivamente. Adicionalmente, para ambos tipos de concreto se estudiaron las propiedades referentes a: resistencia a la tensión, durabilidad, masa unitaria, módulo de elasticidad y relación de Poisson. Se determinó que el uso de esta como agregado fino, los concretos presentaron una baja durabilidad de acuerdo a lo estipulado por ASTM C 642-06, los concretos fabricados con una

²GONZÁLEZ, Claudia; MONTAÑO, Ángela; CASTRO, Diana. Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto. El Hombre y la Máquina, núm. 38, enero-abril, 2012, pp. 59-65.

³ ESPERANZA, Libia; SALAZAR, Jaime, Determinación de la condición saturada y seca superficialmente (s.s.s.) de agregados orgánicos para hormigón ligero, Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Agrícola, pg.25, 2012.

relación A/C de 0.44 presentaron una absorción mayor al 5% estipulado, dejando en claro que la utilización de agregados con una alta porosidad permitirá una baja durabilidad del concreto. No obstante se tiene en claro que estos cumplieron con la porosidad mínima requerida, clasificándolo como un concreto de moderada calidad. Esto puede darse ya que se realizaron los diseños con a/mc bastante altas logrando así una adecuada manejabilidad⁴.

En Colombia no se han introducido de manera completa o parcial metodologías e implementación de concretos livianos estructurales por la desinformación y falta de investigaciones en este campo, además por el bien conocido tradicionalismo y falta de experimentación por parte de las constructoras y concreteteras, lo que con un buen proceso constructivo y una veraz aplicación de los conocimientos podría conducir a mejores procesos constructivos junto con proyectos no solo innovadores si no económicamente sostenibles.

⁴ MARTINEZ, Diego; Concreto liviano estructural con arcilla expandida Térmicamente extraída de canteras localizadas en el Sur de la sabana de Bogotá, Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Estructuras, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, pg.19-197, 2010.

3. HIPÓTESIS

Al variar el porcentaje de agregado fino (arena) por piedra pómez triturada, la resistencia a compresión del concreto estructural permanecerá constante sin alterar su comportamiento isotrópico y lineal.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia a la compresión del concreto estructural aligerado con agregado fino tipo piedra pómez en remplazo de la arena aluvial.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.2.1** Identificar las propiedades del agregado fino tipo piedra pómez y de la arena aluvial.
- 4.2.2** Analizar la compresión axial de probetas de concreto con el agregado de tipo piedra pómez triturado como reemplazo de la arena.
- 4.2.3** Comparar las propiedades mecánicas del concreto elaborado con arena aluvial y el concreto hidráulico elaborado con arena de piedra pómez.
- 4.2.4** Determinar la viabilidad del concreto con agregado fino piedra pómez y establecer si es óptimo para su producción y uso en obra.

5. JUSTIFICACIÓN

Dentro del área de los materiales para la construcción, siempre se ha tenido en alta estima el uso del concreto y todas sus propiedades mecánicas, pero en algunos casos la densidad del mismo junto con su alto peso, han sido obstáculos para la construcción de edificaciones de gran tamaño. Mediante la implementación de un concreto ligero como base para construcciones estructurales, se plantea disminuir la carga muerta de la estructura. Valiéndose de esto se puede reducir las dimensiones y el peso de los elementos estructurales, diseñando proyectos con una mejor distribución en cuanto al espacio por parte de sus respectivas columnas y elementos adicionales de soporte. A su vez con el concreto ligero se podría disminuir costos en acero estructural, se puede obtener mejores resultados en cuanto al curado del concreto puesto que se hace de forma interna y se obtienen mejores acabados en obra.

Mejorando las propiedades físicas-mecánicas y químicas del concreto liviano, se plantea una relación costo/beneficio que se puede llegar a apreciar aspectos favorables en cuanto a su utilización como medio para el mejoramiento de las construcciones generales, dándole un buen manejo de transporte, durabilidad y disminución de costos en obra (transporte, fundición e implementación). Mediante estas nuevas tecnologías y métodos constructivos se busca no solo desarrollar materiales competentes y que estos a su vez disminuyan los costos de construcción, sino también dar paso al desarrollo de nuevos procesos constructivos y materiales, con una base teórica y técnica suficiente para ser implementados en cualquier proyecto.

La piedra pómez es un material que ha sido estudiado con anterioridad para diversos usos y aplicaciones, puesto que contiene una alta porosidad y alto índice de rugosidad, esto último lo hace un material favorable para la creación de concretos hidráulicos ya que los agregados deben poder generar el enlace necesario para poder resistir las cargas aplicadas sobre el concreto; además el material debe poder generar el suficiente roce entre el agregado de relleno y la matriz cementante. Los agregados usados como relleno son las arenas y las gravas, todo con el fin de generar una mezcla homogénea con una granulometría lo suficientemente gradada, que compondrá la mayor densidad para un concreto hidráulico y esta a su vez una mejor resistencia a la compresión. No obstante la aplicación de agregados finos compuestos por materiales porosos no solo permitirá la disminución de la densidad sin afectar el comportamiento isotrópico sino que mejorara el estado monolítico del concreto hidráulico.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1 Ensayo de compresión

El ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto se encuentra definido en la Norma Técnica Colombiana NTC 673, este ensayo determina la resistencia a la compresión. Esta práctica es empleada para la comprobación de la resistencia última del concreto estructural.

La forma de las probetas para el ensayo por lo regular debe ser cilíndrica cumpliendo una relación de esbeltez 1-2, siendo la altura dos veces el diámetro. Los tamaños más utilizados para la investigación son los siguientes.

Probeta cilíndrica de 15x30cm

Probeta cilíndrica de 10x20cm

Probeta cilíndrica de 25x50cm

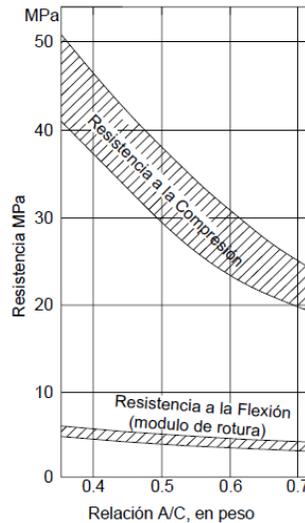
6.1.2 Prueba de resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tenga una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de la ruptura en mega pascales (Mpa) en unidades si no también $\frac{kg}{cm^2}$.

6.1.3 Factores que afectan la resistencia del concreto

Relación agua/cemento (A/C): influye la resistencia del concreto endurecido, dependiendo de la cantidad de agua que se le agregue a la mezcla, el concreto puede dar una buena o mala resistencia. Dependiendo de la relación agua/cemento, y de las propiedades del agregado un concreto liviano puede tener diversas propiedades. Se ha de investigar apropiadamente las características de cada material que se utiliza dentro del diseño de concreto ligeros.

Gráfica 1. Rangos de resistencia a la compresión para concretos ligeros



Fuente: NILSON A.H. (1999) "Diseño de Estructuras de Concreto", 12ª ed.⁵

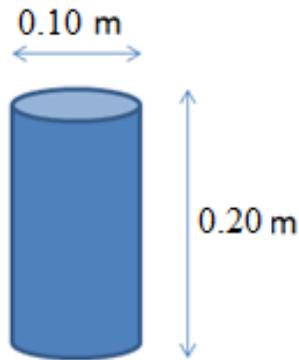
La resistencia a compresión es una medida de la capacidad del concreto para resistir cargas que tienden a aplastarlo. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa para concreto residencial hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales.

6.1.4 Dimensiones de los cilindros de concreto

Durante la práctica se trabajara con probetas cuyas dimensiones están especificadas en la normas ASTM C-42 y ASTM C-39, en estas normas también se incluye consideraciones para los ensayos a la compresión sobre probetas de concreto. La dimensiones referencias de la probeta para esta práctica será de 4 pulg lo que equivale a 10cm de diámetro y 20cm de altura.

⁵ NILSON, Arthur. Diseño de Estructuras en Concreto. 12ª ed. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill, 2001. Pg 722.

Figura 1. Dimensiones de un cilindro de concreto



Fuente: Propia

6.1.5 Materiales y equipos

La elaboración de los cilindros de concreto y la rotura de las mismas durante el ensayo correspondiente (ensayo de compresión) según la norma NTC 673 se usara los siguientes materiales y equipos: Cemento portland Cemex tipo, Arena (reemplazando la arena por roca triturada pómez tamaño arena), piedra, agua, aceite de carro o petróleo (el aceite o petróleo lo emplearemos para recubrir el molde de la probeta, para así evitar que el concreto se pegue al molde y pueda ser retirado con facilidad), recipientes pequeños (emplearemos platones para pesar los agregados y llevarlos hacia la mezcladora), probeta de 1000ml de capacidad para mediciones de agua que se le agregara a la mezcla, molde para probetas los moldes que se usaran para el moldeado de las probetas son metálicos y se ajustan a través de dos seguros los cuales no permiten que el concreto escape del molde, mezcladora o trompo, prensa hidráulica soiltest, la prensa hidráulica es muy importante ya que sin ella no se podría realizar el ensayo a la compresión de las probetas , varilla de acero y Balanza electrónica.

6.1.6 Equipo o máquina de compresión

1. El equipo que se va hacer el ensayo debe tener suficiente capacidad y proporcionar las velocidades de carga.
2. Se pide la verificación y la calibración de la máquina para la elaboración de la investigación de acuerdo con la norma NTC 334 (ASTM E4).

Tabla 1. Requisitos de gradación para los agregados finos

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
No. 4	95-100
No. 8	80-100
No. 16	50-85
No. 30	25-60
No. 50	10-30
No. 100	2-10

Fuente: ASTM C33-03 Standard Specification for Concrete Aggregates.⁶

6.1.7 CÁLCULOS

La resistencia de ruptura a la compresión de cilindros de concreto, es la relación de la carga máxima aplicada en el momento de la falla y el área transversal en que se aplica la carga.

Ecuación 1. Cálculo de resistencia en cilindros de concreto

$$R = \frac{F}{A}$$

Dónde:

R= Resistencia de ruptura a la compresión, en $\frac{kg}{cm^2}$

F=carga máxima aplicada en el momento de la falla en kg

A = área de la sección transversal del cilindro en cm^2

⁶ ASTM International. Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM C33 / C33M-13. West Conshohocken, PA, 2013.

Procedimiento y cálculos

Se retiran los cilindros de concreto de la pila de curado un día antes de la pruebas

Se ponen a secar sobre el sol durante un rato para que pierdan el agua superficial

Se mide el diámetro en centímetros (cm)

Se calcula el área transversal y el volumen

Ecuación 2. Cálculo del área transversal de cilindros de concreto

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.786 \cdot \pi \cdot D^2$$

Dónde:

A= área transversal, en cm colocamos el concreto a la prensa hidráulica esperamos la resistencia a la grieta el concreto y apuntamos.

6.1.8 Agregados

Por lo general en una mezcla de concreto $\frac{3}{4}$ partes del volumen es ocupado por los agregados gruesos y finos (grava y arena), al ser tan grande el porcentaje del agregado en la mezcla este se vuelve de gran importancia puesto que contribuye en la parte del fraguado, estabilidad volumétrica, peso unitario, resistencia mecánica, resistencia a agentes externos productos del medio ambiente, propiedades térmicas y a su textura superficial. La superficie del agregado proporciona una gran área de contacto permitiendo que la pasta de cemento forme una unión sólida con el agregado. Los tamices que se usan en la determinación del módulo de finura son: No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, $\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $1\frac{1}{2}$ ", 3" y de 6"

6.1.9 Resistencia

Para evaluar la resistencia del concreto se evalúan propiedades como el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, el procedimiento más común para medir estos parámetros es elaborar probetas, la resistencia que se mide con la probeta

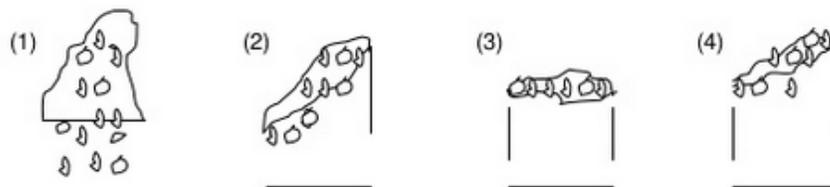
es la misma que tendrá la estructura, esto se hace con el objeto de llevar u control de la resistencia del concreto que se utiliza en obra.

6.1.10 Tipos de falla para ensayos de compresión

Los tipos de falla normal del cilindro bajo la compresión son los siguientes, los lados de la muestra tienden adoptar la forma de un barril un instante antes de su destrucción, quedando con la forma de reloj de arena (tipo1). Tipo2 es una falla por cortante que bien puede indicar un cabeceado irregular. La falla tipo 3 es típica de una compactación pobre, generalmente causado por falta de adherencia de una capa de la muestra anterior, por falla con la varilla de apisonado. La falla tipo 4 bien puede ser una combinación de los tipos 2 y 3.

Las magnitudes y unidades serán establecidas según la NTC1000 (ISO1000), la cual define los parámetros del sistema internacional de unidades.

Figura 2. Tipos de falla



Fuente: NILSON A.H. (1999) "Diseño de Estructuras de Concreto", 12ª ed.⁷

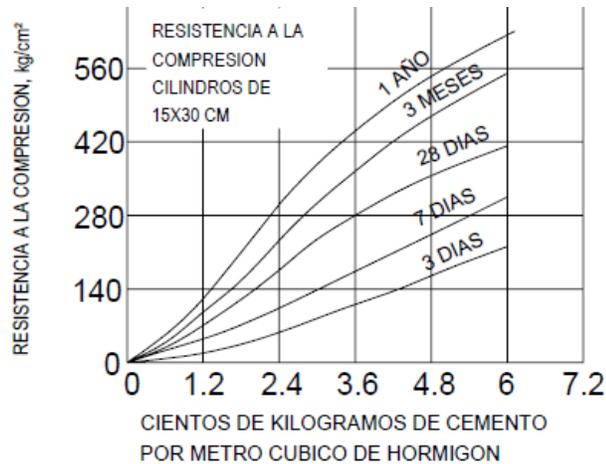
NOTA: El tipo de falla que tuvieron los cilindros, no todos los laboratorios de pruebas indican el tipo de falla del cilindro. Cuando el informe de la prueba indica el tipo de falla. Como se muestra en la figura se puede aprender algo sobre las causas de la baja resistencia.

6.1.11 Contenido de cemento y agregado

La resistencia del concreto va aumentando hasta que alcance la resistencia del cemento o el agregado, dependiendo del que sea más débil. Según las características del agregado, este influye en gran parte en la mezcla del concreto. Las propiedades del agregado, gradación y peso son más fuertes que la pasta del cemento permitiendo así que la mezcla sea resistente.

⁷ Ibíd., p.123

Gráfica 2. Porcentajes de cemento requerido para diferentes resistencias



Fuente: "Manual de la Construcción con Concreto". 3^a ed.⁸

6.1.12 Ensayo de Absorción en frío, caliente y porosidad

Este ensayo se explica en la ASTM C 642-06. Permite determinar la porosidad efectiva del concreto y mide la tasa de succión capilar; la absorción se presenta en toda la superficie, por consiguiente, la cantidad de agua absorbida depende del porcentaje de área de la superficie para el volumen del espécimen y la duración de inmersión. En general, se tiene que se puede clasificar la durabilidad del concreto, por medio de este ensayo, de acuerdo con los siguientes parámetros:

Tipo de Concreto	Absorción %	Porosidad %
Buena calidad y compacidad	<3	<10
Moderada calidad	03-may	10.0 - 5.0
Durabilidad Inadecuada	>5	>15

Cálculos necesarios

Absorción después de la inmersión % = $[(B - A)/A] \times 100$

Absorción después de la inmersión y de ebullición % = $[(C - A)/A] \times 100$

Densidad de aparente seca = $[A/(C - D)] \cdot r = g1$

Densidad aparente después de la inmersión = $[B/(C - D)] \cdot r$

⁸ WADDELL Joseph J. DOBROWOLSKI Joseph A. Manual de la Construcción con Concreto. 3^a Ed, México: Tomo I. Mc Graw Hill, 1997. (1997)

Densidad aparente después de la inmersión y de ebullición = $[C/(C - D)] \cdot r$

Densidad aparente = $[A/(A - D)] \cdot r = g_2$

Volumen de espacio poroso permeable (huecos) % = $(g_2 - g_1)/g_2 \times 100$ también $(C - A)/(C - D) \times 100$

Dónde:

A = Masa de la muestra seca en el horno al aire, (g)

B = Masa de la muestra seca superficialmente en el aire después de la inmersión, (g)

C = Masa de la muestra seca superficialmente en el aire después de la inmersión y la ebullición, (g)

D = Masa aparente de la muestra en agua después de la inmersión y la ebullición, (g)

g_1 = Densidad de aparente seca Mg/m³

g_2 = Densidad aparente Mg/m³

r = Densidad del agua = 1 Mg/m³ = 1 g/cm

6.2 MARCO JURÍDICO

En Colombia el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial tiene en alta estima y reglamentación constitucional la normativa para la construcción de edificaciones, para la protección de los ciudadanos mediante el decreto número 926 (19-Marzo-2010), por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes , decreta:

ARTICULO PRIMERO - Adoptase el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, anexo al presente Decreto, el cual tendrá vigencia en todo el territorio de la República.

ARTICULO SEGUNDO – VIGENCIA – El presente decreto rige a partir del día (15) Julio del año 2010.

ARTÍCULO TERCERO – DEROGATORIAS – El presente decreto deroga en su totalidad las disposiciones contenidas en los Decretos: 22 de 998, 34 de 1999, 2809 de 2000 y 52 de 202.

En segunda instancia se adopta la reglamentación de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y ASTM, como fuentes de especificaciones para los materiales previstos de la construcción. De los cuales el siguiente trabajo tiene énfasis en las siguientes:

Documento	Descripción
ASTM C 1077 - 1998	Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation.
NTC 3318	Concretos producción de concreto, 2000-10-25.
NTC 92 - 1992	Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas y agregados (ASTM C29).
NTC 174	Ingeniería civil y arquitectura. Especificaciones de los agregados para concreto. (ASTM C 33).
NTC 396 - 1992	Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. (ASTM C 143).
NTC 673 - 1994	Ingeniería civil y arquitectura. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. (ASTM C 39).
NTC 1926 - 1995	Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la masa unitaria, rendimiento y contenido de cemento y aire. (ASTM C 138).
NTC 3459 - 1994	Ingeniería civil y arquitectura. Agua para la elaboración de concreto.
NTC 550 - Tercera actualización	Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. ASTM C31:10
ASTM C470M	Moldes para conformar cilindros de concreto usados en ensayos verticales.
NTC 4022 - 1994	Ingeniería civil y arquitectura. Masa unitaria de concreto liviano estructural. (ASTM C 567).
NTC 4045 - 1997	Ingeniería civil y arquitectura. Agregados livianos para concreto estructural.
ASTM C 642	Método Estándar de prueba para la densidad, absorción y vacíos en el hormigón endurecido.

Artículo 8. Uso de materiales y métodos alternos. Se permite el uso de materiales estructurales, métodos de diseño y métodos de construcción diferentes a los prescritos en esta ley y sus reglamentos, siempre y cuando se cumplan los requisitos establecidos en los artículos siguientes.

Artículo 9. MATERIALES ALTERNOS. Se permite el uso de materiales estructurales no previstos en esta ley y sus reglamentos, mediante autorización previa de la "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes" en los términos del artículo 14, sujeto al régimen de responsabilidades establecido en la presente ley y sus reglamentos.

Artículo 13. OTROS SISTEMAS, METODOLOGÍAS O MATERIALES. Cualquier sistema de diseño y construcción que haga referencia al objeto de esta ley y sus reglamentos, del cual exista evidencia obtenida por uso, análisis o experimentación de que está capacitado para cumplir sus propósitos pero no reúne uno o más requisitos específicos de la ley y sus reglamentos, podrá presentarse ante la dependencia distrital o municipal a cargo de la expedición de las licencias de construcción, acompañado de una autorización de la "Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes", de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 14, la cual no exime del régimen de responsabilidades establecido en la presente ley y sus reglamentos.

6.3 MARCO HISTORICO

Los primeros concretos aligerados utilizados en construcciones de gran envergadura, fueron empleados con el fin de disminuir el peso de los techos y cubiertas de edificaciones gubernamentales, se tiene evidencia del Panteón de Agripa – Roma, Italia (118 y 125 d.C), al cual su cúpula fue construida con una mezcla de hormigón utilizando piedra pómez como agregado grueso (extraída en Grosseto) y piedra caliza triturada como agregado fino, los arcos del coliseo Romano con luces superiores a los 25m libres.

El primer edificio en la historia construido completamente con hormigón ligero fue la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos en la ciudad de Kansas City, Misuri, E. U. (1922). Este proyecto fue llevado a cabo puesto que el suelo sobre el que se pretendía cimentar la construcción poseía una baja capacidad portante lo cual junto al ajustado presupuesto, obligaron a la investigación, producción y construcción del hormigón aligerado. Para el año 1928 la compañía de teléfonos Southwestern Bell en la misma ciudad buscaba una alternativa para la ampliación de su edificio, el estudio realizado a la cimentación determino que podría soportar solo ocho pisos más con el uso hormigón convencional, pero se optó por la utilización de un hormigón aligerado con el que se amplió finalmente 14 pisos más.

“A mediados de la década de los treinta, la escoria espumosa de los altos hornos se introdujo en Inglaterra, desde entonces se ha usado mucho como agregado de peso ligero. Antes de la última guerra mundial, el concreto a base de espuma se utilizaba en el Reino Unido, principalmente en la fabricación de bloques para muros que no fueran de carga, aunque, el concreto ligero se pudo utilizar finalmente, para elementos de carga”⁹

Seguido del avance tecnológico se han venido estudiando los diferentes tipos de materiales que podrían reemplazar los agregados típicos dentro del concreto, como lo son las arcillas expandidas, pizarras, plásticos poliuretanos, desechos provenientes de plantas industriales, todo con el fin de disminuir la mayor limitante del concreto el cual es su peso por unidad de volumen. En Latinoamérica para la década de los 70 se empiezan a implementar diferentes tipos de materiales alternativos, como en Venezuela actual productor de arcilla expandida, Ecuador con un vasto mercado de poliestireno expandido más conocido como perlita.

⁹ GRUPO CONCRETOS CELULARES Ltda. Colombia ¿Qué es concreto celular?, Antecedentes Del Concreto Celular Y El Concreto ligero (Europa, Estados Unidos y América Latina), Disponible en: <http://concretoscelulares.blogspot.com/p/que-es-concreto-celular.html>

El uso de la piedra ígnea pómez como material granular para las mezclas de concreto estructural, dada su gran porosidad, disminuye significativamente la densidad del mismo sin comprometer su buen comportamiento a la compresión axial, también se ha propuesto que este tipo de roca aumentara la resistencia de compresión ya que posee un alto contenido de sílice¹⁰.

Se ha demostrado que la piedra pómez tiene excelentes propiedades como material cementante puesto que su estructura interna permite la adhesión y posee la angulosidad necesaria para crear un material monolítico, del mismo modo la cantidad de agua absorbida por el material podría actuar como agente interno de curado. Por otra parte los resultados obtenidos no han sido favorables ya que la estructura de los poros no es capaz de soportar las resistencias esperadas.

La fabricación de concreto liviano se hace mediante el cambio de agregado común por agregado liviano o poroso. El agregado liviano se encuentra en gran parte en los residuos volcánicos por lo que se le puede denominar que es de tipo puzolánico, en Colombia se obtiene principalmente de canteras que se encuentran en las costas y se puede fabricar calentando arcillas a altas temperaturas.

En el diseño de la construcción actualmente se usan sistemas constructivos implementando como parte de sus elementos estructurales paneles, pórticos y losas en edificios de gran envergadura, puentes, elementos pretensados o prefabricados de todos los tipos, hechos con concreto liviano, se facilita su colocación puesto que el peso del concreto oscila en el orden de 1500 a 1800 Kg/m³.

¹⁰ LO, op. Cit, p.19

7. METODOLOGÍA

7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación aquí presentada es de tipo cuantitativo dado que se evaluarán las propiedades de los agregados finos (arena aluvial – arena de piedra pómez) dentro del concreto hidráulico mediante un diseño gráfico, este enfoque es de tipo experimental-correlacional ya que se llevara a cabo trabajo empírico de laboratorio y se evaluará la variación de la resistencia a la compresión (variable dependiente) con diferentes porcentajes de mezclado de arena aluvial y arena pómez (variable independiente).

7.1 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

7.1.1 Variable dependiente

La resistencia a la compresión axial del concreto estructural es la resultante del mezclado y combinación de las características propias de los agregados finos y gruesos con el material cementante luego del proceso de fraguado.

Esta misma puede ser magnificada realizando ensayos de compresión simple a cilindros de concreto, previamente curados, los cuales cumplirán una relación de esbeltez 1-2, como se establece en la norma NTC 673.

7.1.2 Variable independiente

Los agregados finos dentro del concreto estructural afectan tanto como su densidad como resistencia, por tanto el reemplazo del agregado fino arena (aluvial) por piedra pómez triturada, en diferentes proporciones influirá en su resistencia a la compresión.

La densidad del concreto y su gravedad específica pueden ser magnificadas de diferentes maneras, una de ellas está comprendida en la NTC 1926, en la cual se estipula que mediante gravimetría de los agregados y su subsecuente humedecimiento se puede cuantificar su densidad.

7.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

7.2.1 Fase 1 Caracterización de materiales

Las propiedades del agregado fino tipo piedra pómez serán evaluadas primeramente desde la geología y reología de los mismos, evaluando su resistencia, índice de degradación, índice de abrasión, porosidad, densidad y dureza, todo lo anterior después de haber ubicado la fuente de extracción de la piedra pómez.

Actividades

- Recolección de información, sitios de explotación y extracción de material para concretos.
- Selección de materiales, agregado grueso, finos y cemento.
- Trituración manual del agregado piedra pómez para obtener el tamaño deseado del material.
- Caracterización básica de los agregados finos (Dureza, textura, estructura, presencia de calcio, color).
- Caracterización como agregados finos y gruesos (Masa Unitaria Suelta, Masa Unitaria Compacta, Densidad aparente, Absorción, Humedad Natural) bajo norma técnica NTC 174.

7.2.2 Fase 2 Analizar la resistencia a la compresión

Después de establecidas las características de la piedra pómez triturada se elaboraran probetas de concreto que deban cumplir con una resistencia de 21MPa con arena aluvial, los cuales serán el punto de control; se procederá a elaborar probetas con reemplazo de la arena aluvial en las siguientes proporciones 0% - 25% - 65% - 100% del volumen ocupado, por agregado triturado tipo piedra pómez. Hecho lo anterior se procederá a realizar los ensayos de compresión, comprobación de la reacción álcali-sílice, densidad y porosidad del concreto.

Actividades

- Diseño de mezcla en el programa Excel, mediante el método gráfico con reemplazo volumétrico en proporciones de 0% – 25% – 65% – 100% de agregado tipo piedra pómez por arena aluvial.
- Elaboración del concreto hidráulico con los diferentes porcentajes y posterior moldeo para su fase de curado bajo normatividad NTC 550.
- Ensayo de compresión de las probetas de concreto en los días establecidos (7-14-21-28) bajo la normatividad NTC 673.

7.2.3 Fase 3 Resultados y recomendaciones

Comparar los resultados obtenidos de los ensayos, con la muestra de control y determinar si el material presenta las características esperadas como lo son resistencia a la compresión mejorada y disminución de la densidad del concreto.

Establecer una correlación entre los costos de la producción e implementación del concreto aligerado y los posibles beneficios que este pueda tener, tanto en disminución de cargas muertas o implementación como concreto estructural.

Actividades

- Comparación de las magnitudes obtenidas en los ensayos de compresión entre las mezclas a diferentes proporciones.
- Análisis del comportamiento del concreto bajo la gráfica esfuerzo vs días.
- Conclusiones y recomendaciones para la implementación de piedra pómez como agregado fino para concretos hidráulicos.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 Fase I Selección de materiales.

Se recolecto la información necesaria para determinar los diferentes materiales usados genéricamente para la elaboración de concretos estructurales, en este caso se estableció que la arena aluvial es la más adecuada para nuestra investigación puesto que es la más usada en el mercado, el agregado grueso fue seleccionado de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 174, los anteriores son extraídos por la empresa *Cantera de Colombia* cuya principal fuente de abastecimiento se encuentra en el Km. 3 Vía Pereira – Marsella.

El cemento seleccionado es de marca Cemex tipo I el cual cumple con todas las especificaciones Colombianas de trabajabilidad y comportamiento.

Figura 3. Arena Aluvial



Fuente: Propia

Arena Aluvial

Es una arena gruesa cuyas partículas predominan entre el Tamiz N°4 (4,750 mm) y el 200 (0.075 mm), son el resultado de la trituración de roca de cantera.

Figura 4. Agregado Grueso



Fuente: Propia

Agregado Grueso

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm.

Figura 5. Cemento Utilizado



Fuente: Propia

Cemento Cemex

Altas resistencias iniciales y finales, provee una excelente durabilidad en ambientes con polución y tiene un buen desempeño en el terminado.

Figura 6. Piedra Pómez Explotada



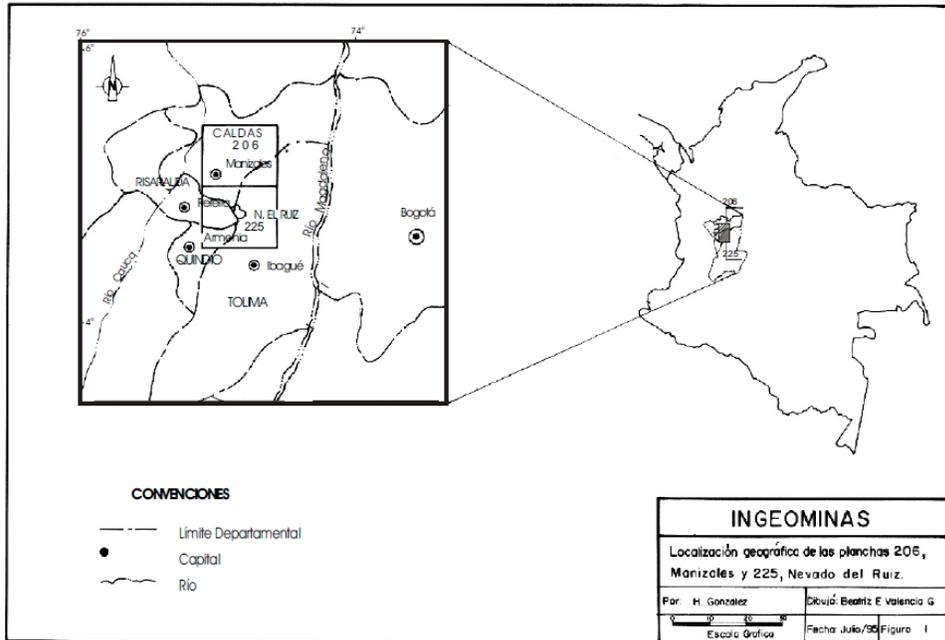
Fuente: propia

Piedra Pómez

Este material es extraído por excavación mecánica en la cantera, como se puede observar presenta una forma redondeada, característica directa de los materiales transportados. Ya que su tamaño es superior al requerido fue triturado manualmente.

La piedra pómez es extraída de la cantera Tapias Irra ubicada en el departamento de Caldas vía Manizales – Medellín, Sector Tres puertas coordenadas $5^{\circ}16'14.07''N$, $- 75^{\circ}39'54.17''O$, esta es distribuida en la ciudad de Bogotá por la empresa *Deposito Castro LTDA*. Usualmente esta es vendida como material compuesto para uso agrícola puesto que posee una gran cantidad de minerales y nutrientes para la vegetación. Esto se debe a que es una roca de origen ígneo cuya porosidad se genera al enfriarse rápidamente.

Figura 7 Localización Geográfica Plancha 225



Fuente: Ingeominas, Planchas 206 y 225 Manizales Nevado del Ruiz, Escala 1:100.000, Memoria Explicativa 2001.

Figura 8. Mapa Ubicación política cantera



Fuente: <http://canterasadelfcafe.com/>

Figura 9. Piedra Pómez triturada



Fuente: propia

Arena de piedra pómez

Este es el resultado luego de ser molida manualmente, tamizada entre los tamices N°4 (4.75mm) y N°200 (0.075mm) para luego ser lavada.

8.2 Fase I Ensayos de los materiales

8.2.1 Agregado grueso:

Se realizaron los ensayos pertinentes a la caracterización del agregado grueso, según las normas técnicas NTC 92 y 174. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. Granulometría Agregado Grueso

N° Tamiz	Tamiz (mm)	% Que Pasa	Estándar NTC 174
2	50mm	100	100
1 y 1/2	25mm	100	95 - 100
1	25.4mm	97.0212766	90 - 100
3/4	19mm	54.83687943	20 - 55
1/2	12.7mm	4.794326241	0 - 10
3/8	9.5mm	2.836879433	0 - 5

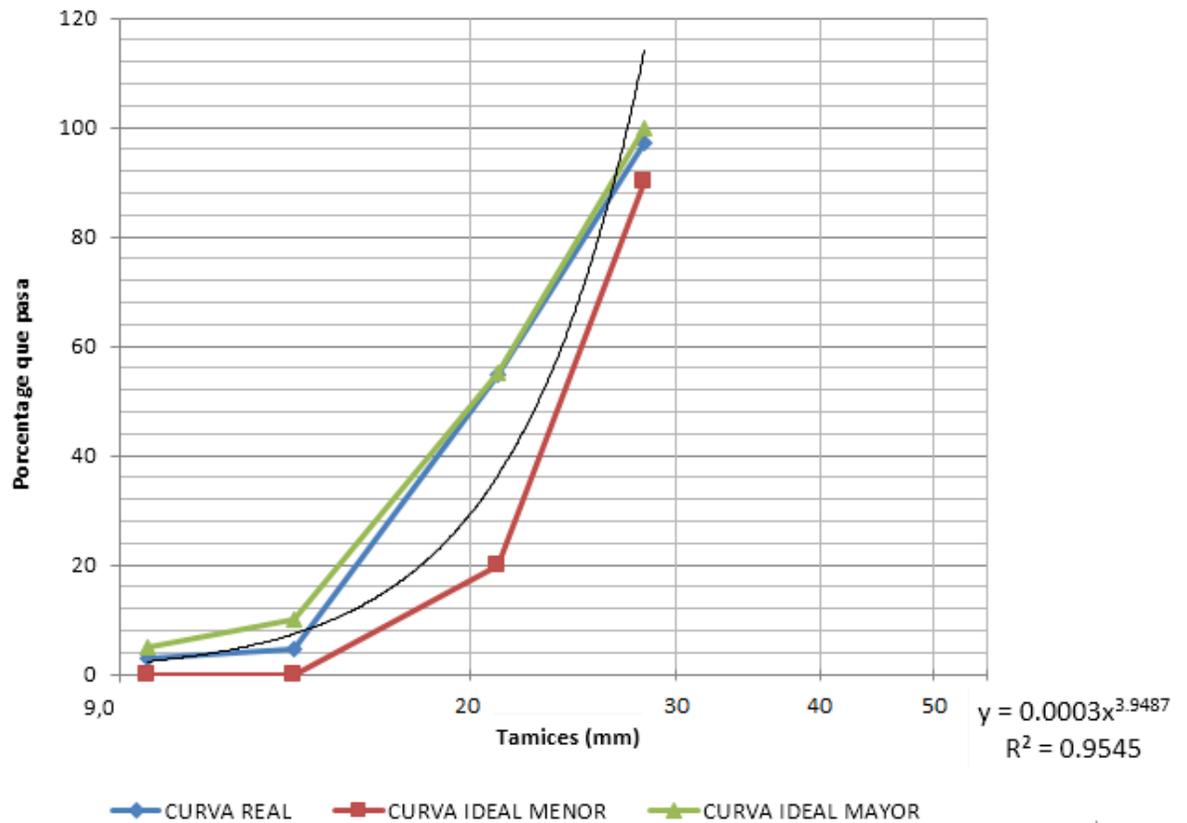
Fuente: Propia

Tabla 3. Características Agregado Grueso

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Suelta	1299kg/m ³
Masa Unitaria Compacta	1395kg/m ³
Densidad aparente seca	2.5g/cm ³
Absorción	2.9g/cm ³
Humedad Natural	4.0g/cm ³
Forma	Ángular

Fuente: Propia

Gráfica 3. Curva granulométrica agregado grueso



Fuente: Propia

8.2.1.1 Cálculos

Determinación del coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Se utiliza la ecuación del gráfico y se despeja el valor de x

$$y = 0.0003x^{3.9487}$$

$$x = \sqrt[3.9487]{\frac{y}{0.0003}}$$

Se reemplaza $y = 60$, también para $y = 10$

$$x = \sqrt[3.9487]{\frac{y}{0.0003}} = \sqrt[3.9487]{\frac{60}{0.0003}} = 22.0$$

$$x = \sqrt[3.9487]{\frac{10}{0.0003}} = 13.97 \sim 14$$

Se sustituye en la primera ecuación

$$Cu = \frac{22}{14} = 1.57$$

Según el rango especificado en la normativa, este se encuentra mal gradado puesto que $Cu < 5$

Se determina el coeficiente de concavidad (Cc) con el fin de determinar un balance aparente entre los agregados finos y gruesos:

$$x = \sqrt[3.9487]{\frac{30}{0.0003}} = 18.46 \sim 18.5$$

$$Cc = \frac{18.5^2}{14 \cdot 22} = 1.106$$

Este valor el cual sobrepasa el ideal establecido en $Cc = 1.0$, indicando que el agregado grueso no permitirá un balance homogéneo dentro del concreto.

Para la realización del diseño por el método gráfico y como parte de la caracterización del material se determinaron los siguientes valores para:

Tamaño Máximo Agregado Grueso	25mm
Tamaño maximo Nominal Agregado Grueso	25.4

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulados desde tamiz \#1 hasta \#3/8}}{100}$$

$$M = \frac{240.51}{100} = 2.40$$

Según la normatividad $6 < M < 10$ lo cual indica aún la falta de agregado fino y por tanto puede presentar segregación y la producción de cavidades con contenido de aire.

Tabla 4. Resultados Obtenidos ensayo de Gs y Absorción

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Recipiente #	98	503	3/8"
Peso recipiente	112.4gr	115.6gr	119.5gr
Peso grava sss + recipiente	1710.7gr	1651.4gr	1845.0gr
Peso grava sss	1598.3gr	1535.8gr	1725.5gr
Peso grava sumergido	953.0gr	919.7gr	1027.6gr
Peso grava seco+ recipiente	1665.6gr	1606.9gr	1797.6gr
Peso grava seco	1553.2gr	1491.3gr	1678.1gr
Gs bulk	2.4gr	2.4gr	2.4gr
Gs bulk sss	2.5gr	2.5gr	2.5gr
Gs aparente	2.6gr	2.6gr	2.6gr
% Absorción	2.9gr	3.0gr	2.8gr

Fuente: Propia

Tabla 5. Valores tomados para diseño

POMEDIOS	
Gs bulk	2.41
Gs bulk sss	2.48
Gs aparente	2.59
% Absorción	2.90

Fuente: Propia

Tabla 6. Densidad Suelta y Compacta de la Grava

MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA (GRAVA)				
Balde	9.1kg	Peso	Volumen	0.013766m ³
	25.2	Diámetro (cm)		
	27.6	Altura (cm)		
SUELTO				
Balde + Material	26.8kg	Peso	Promedio	27.0kg
	27.3kg	Peso		
	26.9kg	Peso		
COMPACTO				
Balde + Material	28.4kg	Peso	Promedio	28.3kg
	28.3kg	Peso		
	28.3kg	Peso		
Densidad bulk suelto		1298.92kg/m ³		
Densidad bulk compacto		1394.86kg/m ³		

Fuente: Propia

8.2.3 Agregado fino Arena Aluvial:

Se realizaron los ensayos pertinentes a la caracterización del agregado fino, según las normas técnicas NTC 92 y 174. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7. Granulometría Agregado Fino arena Aluvial

N° Tamiz	Tamiz (mm)	% Que Pasa	Estandar
3/8"	9.5	99.72871508	100
4	4.75	96.17680613	95 - 100
8	2.36	85.90247009	80 - 100
16	1.18	68.65034093	50 - 85
30	0.6	47.5644053	25 - 60
50	0.3	19.11928577	10--30
100	0.15	7.793637738	2--10

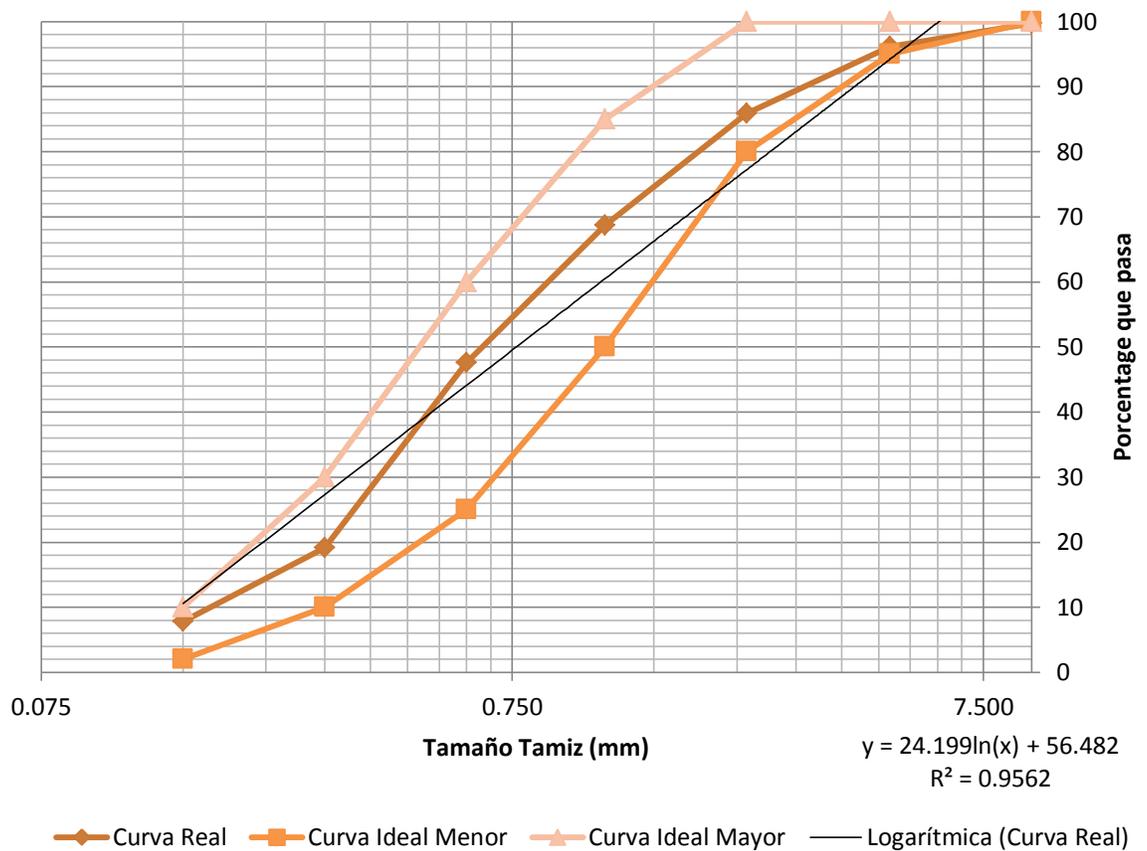
Fuente: Propia

Tabla 8. Características Agregado Fino arena Aluvial

Agregado Fino Arena Aluvial	
Masa Unitaria Suelta	1598kg/m ³
Masa Unitaria Compacta	1720kg/m ³
Densidad aparente	2.5g/cm ³
Absorción	2.1%
Contenido de arcilla	1.4g/cm ³
Contenido de materia orgánica	2.0g/cm ³
Humedad Natural	2.0g/cm ³
Forma	Granular

Fuente: Propia

Gráfica 3. Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Propia

8.2.3.1 Cálculos

Determinación del coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Se utiliza ecuación del gráfico y se despeja el valor de x

$$y = 22.955 \ln(x) + 57.558$$

$$x = e^{\frac{2(500y-28241)}{24199}}$$

Reemplazar y = 60, también para y = 10

$$D60 = x = e^{\frac{2(500y-28241)}{24199}} = e^{\frac{2(500(60)-28241)}{24199}} = 1.15$$

$$D10 = x = e^{\frac{2(500(10)-28241)}{24199}} = 0.14$$

Se sustituye en la primera ecuación

$$Cu = \frac{1.15}{0.14} = 8.21$$

Este se encuentra bien gradado puesto que $Cu < 5$ y por tanto la uniformidad de este agregado es muy alta

Se determina el Coeficiente de concavidad con el fin de determinar un balance aparente entre los agregados finos y gruesos:

$$D30 = x = e^{\frac{2(500(30)-28241)}{24199}} = 0.33$$

$$Cc = \frac{0.33^2}{0.14 \times 1.15} = 0.69 \sim 0.7$$

Este valor el cual no sobrepasa el ideal establecido en $Cc = 1.0$, indica que este agregado fino permitirá una adhesión interna de los agregados.

Para la realización del diseño por el método gráfico y como parte de la caracterización del material se determinaron los siguientes valores para:

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulados desde tamiz \#3/8 hasta \#100}}{100}$$

$$M = \frac{275.06}{100} = 2.75$$

Según la normatividad $1 < M < 6$ por lo que definimos que el material se encuentra dentro de las especificaciones esperadas.

Tabla 9. Calculo de Gs

Muestra	Tipo	Temperatura °c	Peso agregado SSS (g)	Peso picnómetro + agua (g)	Peso picnómetro + agua + pómez (g)	Peso recipiente (g)	Platon + Muestraseca (g)	Peso Seco (g)
1	Arena	22	500.00gr	672.40gr	979.30gr	114.10gr	603.80gr	489.70gr

GRAVEDAD ESPECIFICA		
Pomez	Bulk	2.54
Pomez	Bulk sss	2.59
Pomez	Aparente	2.68

Fuente: Propia

Tabla 10. Calculo densidad Arena Aluvial

MASA SUELTA Y COMPACTA ARENA ALUVIAL				
Balde	2.5kg	Peso	Volumen	0.002849m ³
	15.2	Diámetro (cm)		
	15.7	Altura (cm)		
SUELTO				
Balde +material	7.1kg	Peso	Promedio	7.1kg
	7.1kg	Peso		
	7.1kg	Peso		
COMPACTO				
Balde +material	7.4kg	Peso	Promedio	7.4kg
	7.4kg	Peso		
	7.5kg	Peso		
Densidad bulk suelto		1597.81kg/m ³		
Densidad bulk compacto		1719.85kg/m ³		

Fuente: Propia

8.2.4 Agregado fino Piedra Pómez:

Se realizaron los ensayos pertinentes a la caracterización del agregado fino, según las normas técnicas NTC 92 y 174. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11. Granulometría Agregado Fino arena pómez

N° Tamiz	Tamiz (mm)	% Que Pasa	Estandar
3/8"	9.5	100	100
4	4.75	98.42519685	95 - 100
8	2.36	61.16866971	80 - 100
16	1.18	40.82055533	50 - 85
30	0.6	26.27434729	25 - 60
50	0.3	12.68130957	10--30
100	0.15	7.874015748	2--10

Fuente: Propia

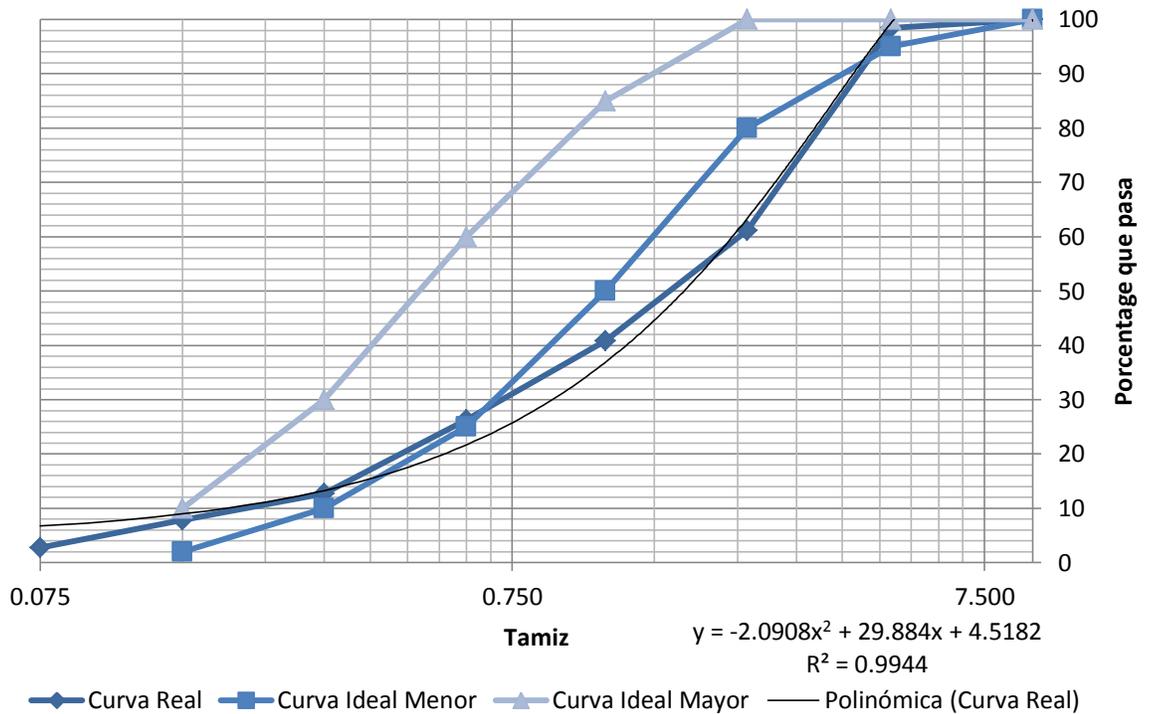
Como se puede observar el agregado triturado no cumple con toda la especificación en los tamices N°8 y 16, pero se espera que al ser combinado con la arena aluvial esta falta sea compensada en mayor medida sea la proporción de la arena aluvial.

Tabla 12. Características Agregado Fino arena Piedra Pómez

Agregado Fino Pómez	
Masa Unitaria Suelta	755kg/m ³
Masa Unitaria Compacta	852kg/m ³
Densidad aparente	1.4g/cm ³
Absorción	25.5%
Contenido de arcilla	0.3g/cm ³
Contenido de materia orgánica	0.0g/cm ³
Humedad Natural	1.0g/cm ³
Forma	Granular

Fuente: Propia

Gráfica 3. Curva granulométrica agregado fino tipo piedra pómez triturada



Fuente: Propia

8.2.3.1 Cálculos

Determinación del coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Se utiliza la ecuación del gráfico y se despeja el valor de x

$$y = -2.0908x^2 + 29.884x + 4.5182x$$

$$x = \frac{74710 - \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454}$$

Se reemplaza y = 60, también para y = 10

$$D_{60} = x = \frac{74710 - \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 - \sqrt{5817750414 - 52270000(60)}}{10454} = 2.19 \sim 2.2$$

Se realiza el procedimiento tanto para el valor negativo como positivo de la ecuación cuadrática.

$$D_{60} = x = \frac{74710 + \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 + \sqrt{5817750414 - 52270000(60)}}{10454} = 12.1 \sim 12$$

Se calcula para D10

$$D_{10} = x = \frac{74710 - \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 - \sqrt{5.817'750.414 - 52'270.000(10)}}{10454} = 0.18 \sim 0.2$$

$$D_{10} = x = \frac{74710 + \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 + \sqrt{5.817'750.414 - 52'270.000(10)}}{10454} = 14.1$$

Se sustituye en la primera ecuación

$$Cu = \frac{2.2}{0.2} = 11$$

Este se encuentra bien gradado puesto que $Cu < 5$ y por tanto la uniformidad de este agregado es muy alta

Se prosigue a determinar el Coeficiente de concavidad con el fin de determinar un balance aparente entre los agregados finos y gruesos:

$$D_{30} = x = \frac{74710 - \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 - \sqrt{5.817'750.414 - 52'270.000(30)}}{10454} = 0.91$$

$$D_{30} = x = \frac{74710 + \sqrt{5817750414 - 52270000(y)}}{10454} =$$

$$\frac{74710 + \sqrt{5.817'750.414 - 52'270.000(30)}}{10454} = 13.4$$

$$Cc = \frac{0.91^2}{0.2 \times 2.2} = 1.88 \sim 1.9$$

Este valor el cual no sobrepasa el ideal establecido en $Cc = 1.0$ lo que indica que al ser triturado manualmente se puede mejorar por encima de lo previsto el material, además de haber sido tamizado lo que elimina el desperdicio y todas las partículas que pasan por el tamiz #200.

Para la realización del diseño por el método gráfico y como parte de la caracterización del material se determinaron los siguientes valores para:

$$Modulo\ de\ finura = \frac{\sum \% Retenido\ acumulados\ desde\ tamiz\ \#3/8\ hasta\ \#100}{100}$$

$$M = \frac{352.75}{100} = 3.5275$$

Según la normatividad $1 < M < 6$ por lo que definimos que el material se encuentra dentro de las especificaciones esperadas.

Tabla 13. Calculo de Gs arena Pómez

Muestra	Tipo	Temperatura °c	Peso agregado SSS	Peso picnometro + agua	Peso picnometro + agua + pomez	Peso recipiente	Platon + Muestraseca	Peso Seco
1	Pomez	22	250.00gr	684.83gr	795.20gr	113.90gr	313.10gr	199.20gr

GRAVEDAD ESPECIFICA		
Pomez	Bulk	1.43
Pomez	Bulk sss	1.79
Pomez	Aparente	2.24

Fuente: Propia

Tabla 14. Calculo densidad Arena Pómez

MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTA (ARENA PÓMEZ)				
Balde	2.5kg	Peso	Volumen	0.002849m ³
	15.2	Diámetro		
	15.7	Altura		
SUELTO				
Balde + Material	4.7kg	Peso	Promedio	4.69kg
	4.7kg	Peso		
	4.7kg	Peso		
COMPACTO				
Balde + Material	5.0kg	Peso	Promedio	4.97kg
	5.0kg	Peso		
	5.0kg	Peso		
Densidad bulk suelto		755.26kg/m ³		
Densidad bulk compacto		851.79kg/m ³		

Fuente: Propia

8.3 Fase II Diseño de mezcla.

Se desarrolló en el programa Excel el diseño gráfico para la elaboración de los diferentes concretos, este con ayuda del programa AutoCad de la casa Autodesk, para la elaboración de la combinación grafica del agregado fino y grueso.

Siendo que se evaluarán diferentes proporciones, se realizó en primera instancia un diseño para un concreto normal con el 100% de la arena aluvial, luego se reemplazó en porcentaje volumétrico la arena aluvial por la arena de piedra pómez. Esperando que al tener esta última una mayor porosidad que la arena normal redujera la densidad del concreto sin afectar su resistencia.

El procedimiento para el diseño es el siguiente:

- 8.3.1 Selección del asentamiento
- 8.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado
- 8.3.3 Estimación del contenido de aire
- 8.3.4 Estimación del contenido de agua de mezclado
- 8.3.5 Determinación de la resistencia de diseño
- 8.3.6 Selección de la relación agua-cemento
- 8.3.7 Cálculo del contenido de cemento
- 8.3.8 Estimación de las proporciones de agregados
- 8.3.9 Ajuste a las mezclas de prueba

8.3.1 Selección del asentamiento

Tipo #4

Consistencia: Húmeda

Asentamiento en mm:

Límite Superior 100

Límite Inferior 50

Ejemplo de tipo de construcción: Elementos estructurales esbeltos

Sistema de colocación: Bombeo

Sistema de compactación: Secciones bastante reforzadas, sin vibración.

8.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado

Dimensión mínima de la sección (cm): 30 – 74

Muros reforzados vigas y columnas 1 ½" (38) – 3" (76)

Tamaño máximo: 25mm 0.98pulg

8.3.3 Estimación del contenido de aire

Tamaño máximo nominal del agregado: 25.4mm - 1pulg

Contenido de aire en porcentaje por volumen: Naturalmente atrapado 1.5

8.3.4 Estimación del contenido de agua de mezclado

Asentamiento: 100mm o 4"

Tamaño máximo del agregado: 25.4mm o 1"

Agua de mezclado de concreto: 192kg/m³

8.3.5 Determinación de la resistencia de diseño

Se busca que la resistencia final sea de 21MPa ~ 221Kg/cm², a lo cual se debe sumar una resistencia de acuerdo a la siguiente tabla:

Ilustración 1. Resistencia requerida de diseño cuando no existen datos que permitan determinar la desviación estándar.

Resistencia especificada f'c (Kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'cr (Kg/cm ²)
Menos de 210 Kg/cm ²	f'c + 70 Kg/cm ²
de 210 Kg/cm ² a 350 Kg/cm ²	f'c + 85 Kg/cm ²
Más de 350 Kg/cm ²	f'c + 100 Kg/cm ²

Fuente: SANCHEZ DE GUZMAN, Diego “Tecnología del concreto y del mortero” 2ed^o¹¹.

$$f'cr = f'c + (t\sigma) = f'c + (85kg/cm^2)$$

$$f'cr = 221kg/cm^2 + 85kg/cm^2 = 305.9 kg/cm^2$$

$$f'cr = 305.9 \frac{kg}{cm^2} = 30MPa$$

8.4.6 Selección de la relación agua-cemento

6. Selección de la relación agua-cemento			
Concretos sin aire incluido			
Resistencia a la compresión, kg/cm ²	Relación agua - cemento en peso		
	Limite sup	Limite med	Limite inf
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
Resistencia de diseño, f' cr:	305.9kg/cm ²		
Relación Agua -Cemento A/C	0.427		

8.3.7 Cálculo del contenido de cemento

Densidad del cemento 2.9gr/cm³

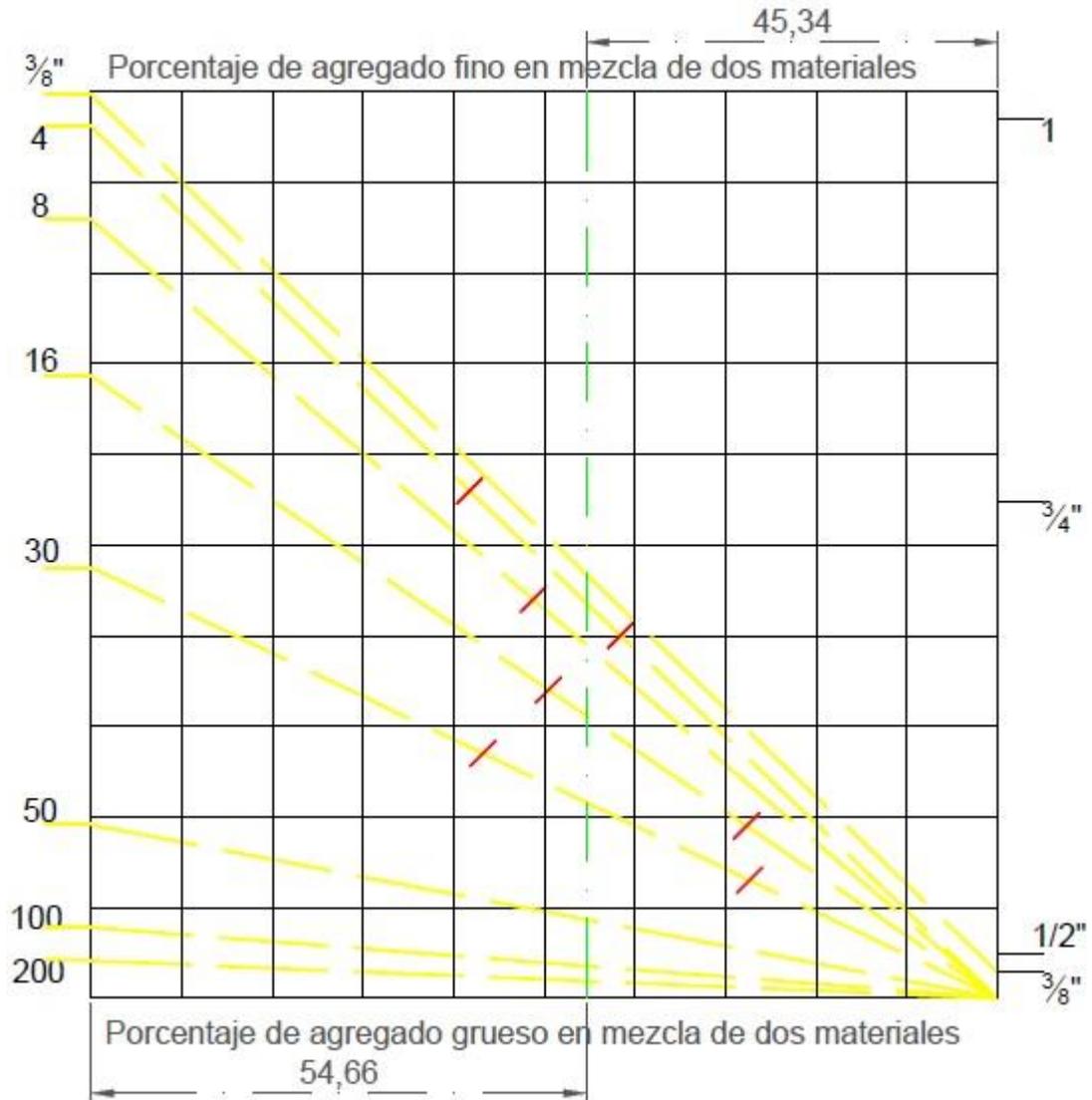
$$C = \frac{A}{\left(\frac{A}{C}\right)} = \frac{192kg/m^3}{(0.427)} = 449.64 kg$$

¹¹ SANCHEZ DE GUSMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero, Diseño de mezclas de concreto. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 2001. 349p.

8.3.8 Estimación de las proporciones de agregados

Se realizó el procedimiento grafico para la estimación de los contenidos de agregados finos y gruesos. En primera instancia se realizó solo para una mezcla la cual contuviera un 100% de arena aluvial como agregado fino, con los siguientes resultados:

Gráfica 4. Granulometría combinada con arena Aluvial

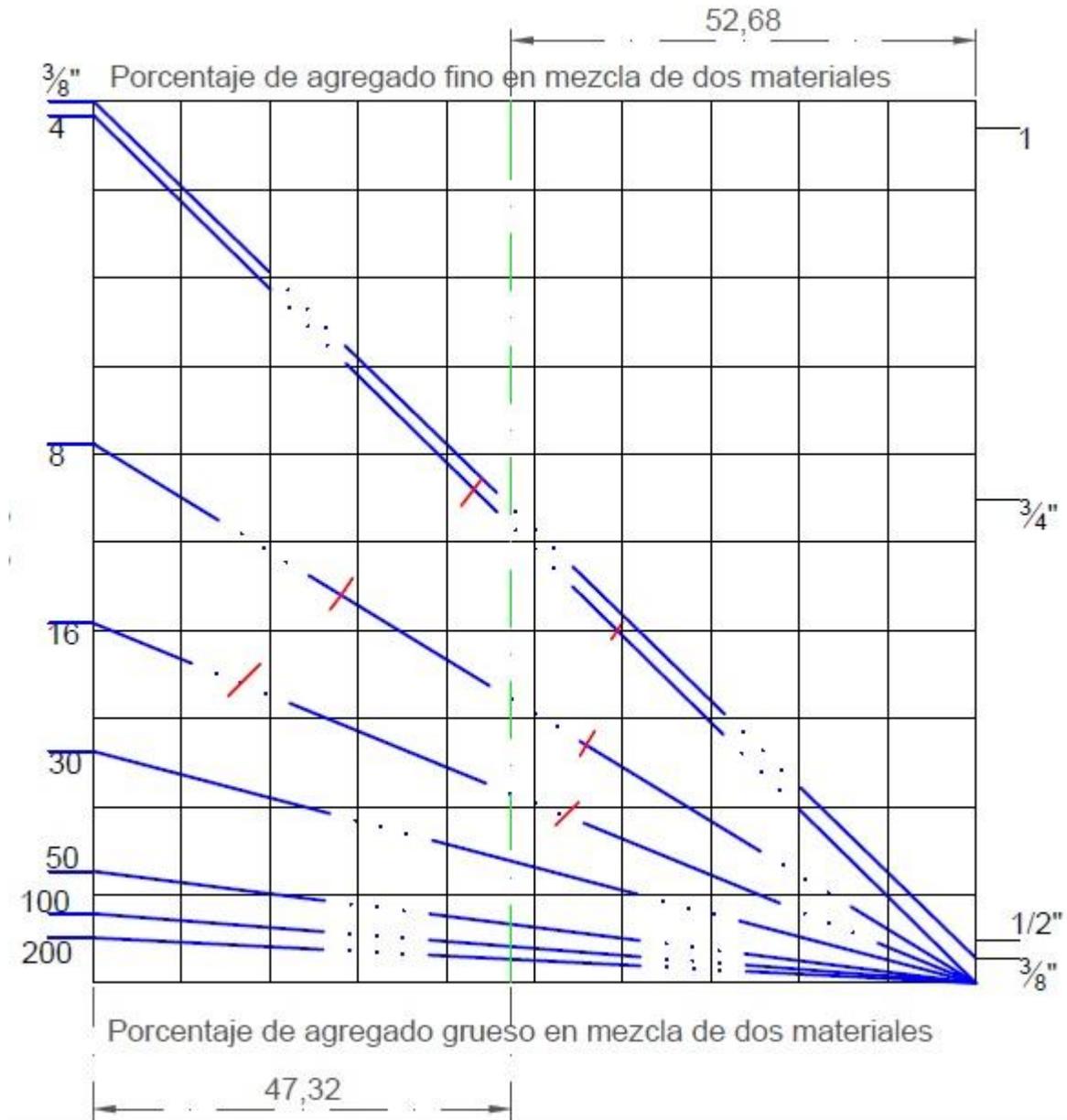


Fuente: Propia

Como se puede observar el porcentaje de combinación entre el agregado grueso y fino se encuentra en una proporción 54.66% y 45.34% respectivamente.

Se procedió a realizar la misma grafica utilizando solo piedra pómez, arrojando los siguientes resultados:

Gráfica 5. Granulometría combinada con solo arena Pómez

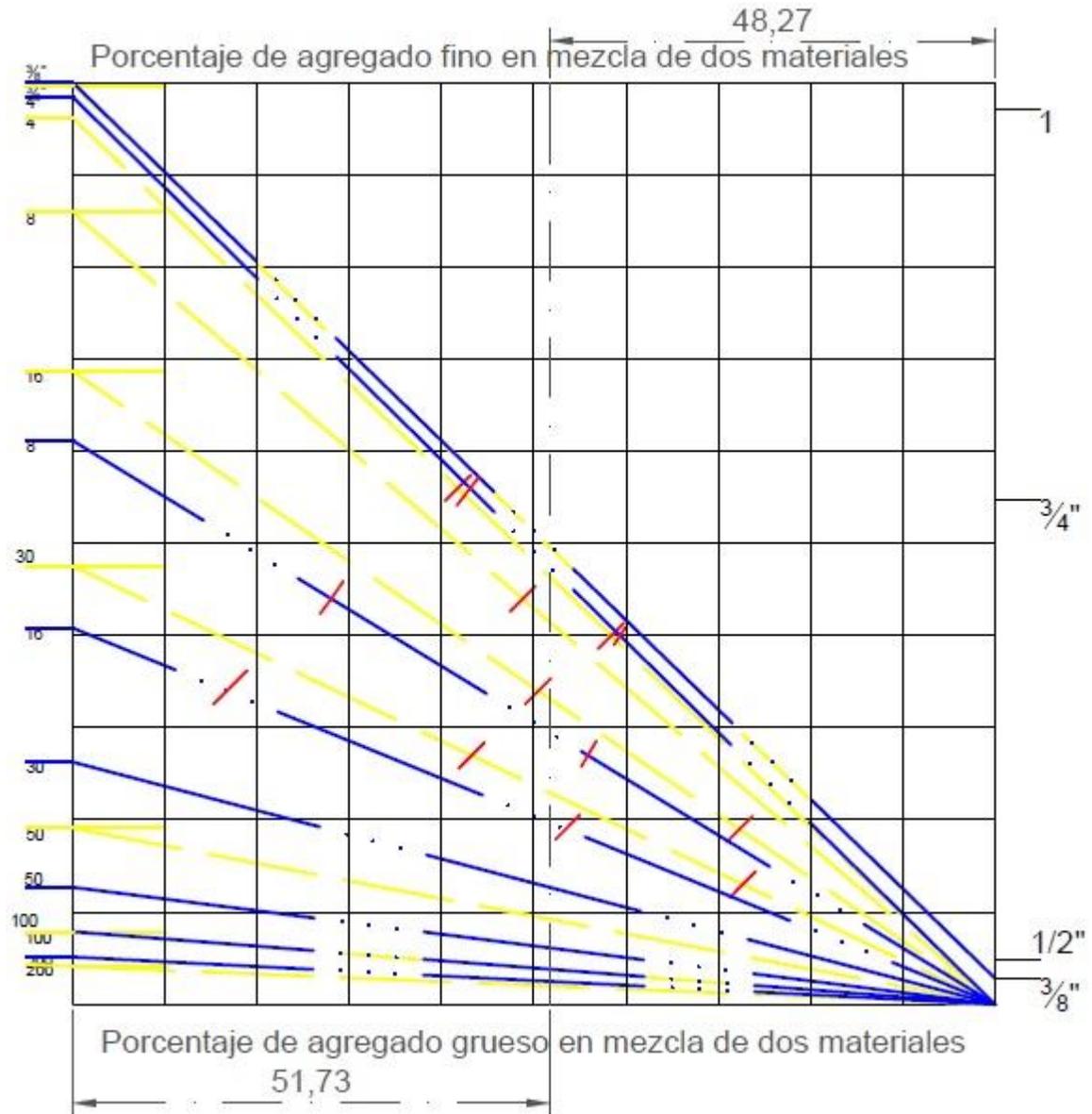


Fuente: Propia

Como se puede observar la relación entre los agregados finos (pómez) y gruesos se encuentra en 52.58% y 47.32% respectivamente.

Por último se realizó el mismo procedimiento en combinación de la piedra pómez y arena aluvial, con el fin de determinar la mejor proporción cuando estos dos son combinados. Los resultados son los siguientes: porcentaje

Gráfica 6. Granulometría combinada arenas pómez y aluvial



Fuente: Propia

La línea intermedia se encuentra en la intersección entre las dos combinaciones indicándonos la mejor proporción para la combinación de las dos arenas, con una proporción para el agregado fino de 48.27% y 51.73% para el agregado grueso.

Siguiendo la metodología grafica para la elaboración de concretos se estimó el volumen absoluto de agregados dentro del concreto.

$$Vr = 1000 - (Vc + Va + A) = 1000 - (152.78 + 192 + 1.5) = 653.71$$

Estimación de la densidad aparente seca

$$Ga = \frac{(Gag \cdot Gaf)}{[Gag(n) + Gaf(m)]}$$

$$Ga = \frac{(2.48 \cdot 2.53)}{[2.48(0.453) + 2.53(0.546)]} = 2.51g/cm^3$$

Peso total agregados secos

$$Pta = Gta \cdot Vta$$

$$Pag = \frac{2.51g}{cm^3} \cdot \left(653.71 \frac{kg}{m^3} \right) = 1640.8kg/m^3$$

Peso seco agregado grueso

$$Pag = Gag \cdot Vag$$

$$Pag = \frac{1640.8kg}{m^3} \cdot (0.546) = 895.9kg/m^3$$

Peso seco agregado fino

$$Paf = Gaf \cdot Vaf$$

$$Pag = \frac{1640.8kg}{m^3} \cdot (0.453) = 742.9kg/m^3$$

8.3.9 Ajuste a las mezclas de prueba

Por último se realiza la corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso húmedo A. grueso} = 895.9 (1 + 0.04) = 931.7kg/m^3$$

$$\text{Peso húmedo A. fino} = 742.9 (1 + 0.02) = 757.7 kg/m^3$$

Cantidades necesarias de cada material para un concreto con 100% de arena aluvial en condiciones normales.

Tabla 15 Cantidades de material para muestra control

Porcentage	Días				Cantidades							Agua para Pómez y Agregados
	7	14	21	28	Cemento	Agua	Arena Aluvial	Grava	Arena Pómez	Volumen Total	Volumen Corroborado	
0	1	2	3	4	12.11kg	5.5Lt	20.05kg	24.18kg	0.00kg	0.027m ³	0.027	0.287Lt
	5	6	7	8								
	9	10	11	12								

Fuente: Propia

De acuerdo a lo estipulado se realizó una mezcla en proporción al volumen de arena dentro del primer diseño, también se realizó una mezcla de Gs para la arena aluvial y la arena pómez, con el fin de que la muestra final fuese más homogénea.

Cálculo realizado para Gs combinando arena pómez (25%) y aluvial (75%):

$$G_{finos} = \frac{(G_{ap} G_{al})}{[G_{ag}(n) + G_{af}(m)]}$$

$$G_a = \frac{(1.4 \times 2.53)}{[1.4(0.75) + 2.53(0.25)]} = 2.12g/cm^3$$

El procedimiento se repitió para cada una de las proporciones

Arena piedra pómez 65% y Arena aluvial 35%

Arena piedra pómez 100% y Arena aluvial 0%

Tabla 16. Total de cantidades de materiales necesarios para realizar todas las mezclas en sus diferentes proporciones

Porcentaje	Días				Cantidades							Agua para Pómez y Agregados							
	7	14	21	28	Cemento	Agua	Arena Aluvial	Grava	Arena Pómez	Volumen Total	Volumen Corroborado								
0	1	2	3	4	12.11kg	5.5Lt	20.05kg	24.18kg	0.00kg	0.027m ³	0.027	0.287Lt							
	5	6	7	8															
	9	10	11	12															
10.25	13	14	15	16	11.70kg	6.3Lt	14.15kg	20.22kg	4.72kg	0.027m ³	0.027	1.309Lt							
	17	18	19	20															
	21	22	23	24															
0.65	25	26	27	28	12.10kg	7.9Lt	5.90kg	10.00kg	11.00kg	0.027m ³	0.026	2.598Lt							
	29	30	31	32															
	33	34	35	36															
1	37	38	39	40	12.18kg	9.2Lt	0.00kg	15.41kg	17.15kg	0.0271m ³	0.03160	4.699Lt							
	41	42	43	44															
	45	46	47	48															
SUMATORIA												48.09kg	28.92Lt	40.10kg	69.80kg	32.87kg	0.11kg	0.11kg	8.89kg

Fuente: Propia

8.4 Fase II Elaboración del Concreto Hidráulico.

Las probetas de concreto hidráulico fueron elaboradas bajo la normativa técnica NTC 550. Fueron fabricadas por separado en grupos de doce, de los cuales se repartieron tres para cada día de ensayo.

En la primera fase se elaboró el material necesario de arena piedra pómez para todas las mezclas, esta fue colada entre los tamices #14 y #200 con el fin de poseer un amplio rango de arena gruesa y fina, también separando la fracción fina que en dado caso de no haberla separado funcionaria como un material adicional al concreto el cual no se desea evaluar.

Tabla 17. Materiales necesarios

Material	Cantidad	Precio
Trompo de mezclado	1	-----
Pesa de precisión digital	2	-----
Camisas de moldeo	12	-----
Cemento	2 Bultos	\$60,000
Arena aluvial	2 Lonas	\$40,000
Piedra pómez	3 Lonas	\$120,000
Agua	30 Lt	-----
Palustres	2	-----
Tapa bocas	12	\$16,800
Batas	3	\$105,000
Alicates	2	-----
Espátulas	3	-----
Diésel	2 Lts	-----
Tamiz #14 1.6x1m	1	\$130,000
Tamiz #200 1.6x1m	1	\$150,000
Transporte	30	\$120,000
Papelería	120	\$144,000
Nota: Los materiales proporcionados por la facultad de ingeniería civil son los marcados con (-----), algunos materiales son aproximados puesto que sobraron de estos.		

Fuente: Propia

8.6 Fase II Ensayos de compresión.

Tabla 18 Cronograma y cantidades de cilindros

Días de fallas	Tipo de muestra	N° probetas a fallar
18 de marzo de 2015	Concreto solo arena (argos)	3
20 de marzo de 2015	Concreto solo arena (Cemex)	3
	Concreto 25% pomez (Cemex) (13 Marzo)	3
24 de marzo de 2015	Concreto 65% pomez (Cemex)	3
25 de marzo de 2015	Concreto solo arena (argos)	3
27 de marzo de 2015	Concreto solo arena (Cemex)	3
	Concreto 25% pomez (Cemex) (13 Marzo)	3
	Concreto 100% pomez (Cemex)	3
28 de marzo de 2015	Concreto solo arena (argos)	3
	Concreto 65% pomez (Cemex)	3
6 de abril de 2015	Concreto solo arena (Cemex)	3
	Concreto 100% pomez (Cemex)	3
7 de abril de 2015	Concreto 25% pomez (Cemex) (17 Marzo)	3
	Concreto 65% pomez (Cemex)	3
8 de marzo de 2015	Concreto solo arena (argos)	3
10 de marzo de 2015	Concreto solo arena (Cemex)	3
	Concreto 25% pomez (Cemex) (13 Marzo)	1
	Concreto 100% pomez (Cemex)	3
14 de marzo de 2015	Concreto 25% pomez (Cemex) (17 Marzo)	2
	Concreto 65% pomez (Cemex)	3
17 de marzo de 2015	Concreto 100% pomez (Cemex)	3

Fuente: Propia

Notas:

Concreto solo arena (argos) no se falla a los 21 días sino a los 17 días,
 Concreto 65% pómez (Cemex) no se falla a los 14 días sino a los 11 días,
 Concreto solo arena (Cemex) no se falla a los 21 días sino a los 24 días,
 Concreto 100% pómez (Cemex) no se falla a los 14 días sino a los 17 días.

Tabla 19 Datos Resistencia a Compresión Simple

MUESTRA	7 Dias		14 Dias		21 Dias		28 Dias	
	Peso (kg)	Resistencia (KN)						
Argos (solo arena)	3.585	74.2	3.647	75.3	3.793	103.1	3.62	110.2
	3.79	75.7	3.751	74.2	3.804	107.7	3.685	112.5
	3.719	74	3.602	90.8	3.606	102.4	3.713	115.4
Cemex (100% arena)	3.804	139.7	3.775	163.7	3.612	170.2	3.777	177.4
	3.723	126.6	3.767	144.5	3.662	168.6	3.652	174.2
	3.797	123.4	3.654	153.2	3.664	175	3.799	171.1
Cemex (25% Pómez)	3.55	94.8	3.567	109.2	3.566	136.4	3.616	149.7
	3.504	92.1	3.563	108.4	3.548	137.3	3.65	143.9
	3.542	99.5	3.569	112.2	3.56	135.8	3.555	145.4
Cemex (65% Pómez)	3.188	87.6	3.332	93.2	3.307	117	3.309	135.9
	3.331	86.1	3.357	90.7	3.289	114.4	3.362	128.7
	3.319	91.4	3.26	94.2	3.189	115.6	3.27	134.2
Cemex (100% Pómez)	3.147	117	3.226	133.5	3.258	134.4	3.238	153.2
	3.283	110.2	3.219	130.2	3.288	142.5	3.319	147
	3.273	114.1	3.177	128.5	3.203	134.9	3.195	152.4

Fuente: Propia

8.7 Fase III Resultados y recomendaciones

8.7.1 Densidad de las muestras

Tabla 20 Cuadro resultados densidades promedio días 7 y 14

	DIA 7			DIA 14		
	Peso Promedio	Densidad (kg/m ³)	Diferencia %	Peso Promedio	Densidad	Diferencia %
Cemex (100% arena aluvial) Muestra de	3.77	2403.03		3.73	2375.86	
Cemex (25% pomez)	3.53	2248.54	6.43% 154.5 kg/m ³	3.57	2270.40	4.44% 105.5 kg/m ³
Cemex (65% pomez)	3.28	2087.69	13.12% 315.3 kg/m ³	3.32	2111.24	11.14% 264.6 kg/m ³
Cemex (100% pomez)	3.23	2059.04	14.31% 344.0 kg/m ³	3.21	2041.85	14.06% 334.0 kg/m ³

Fuente: propia

Tabla 21 Cuadro resultados densidades promedio días 21 y 28

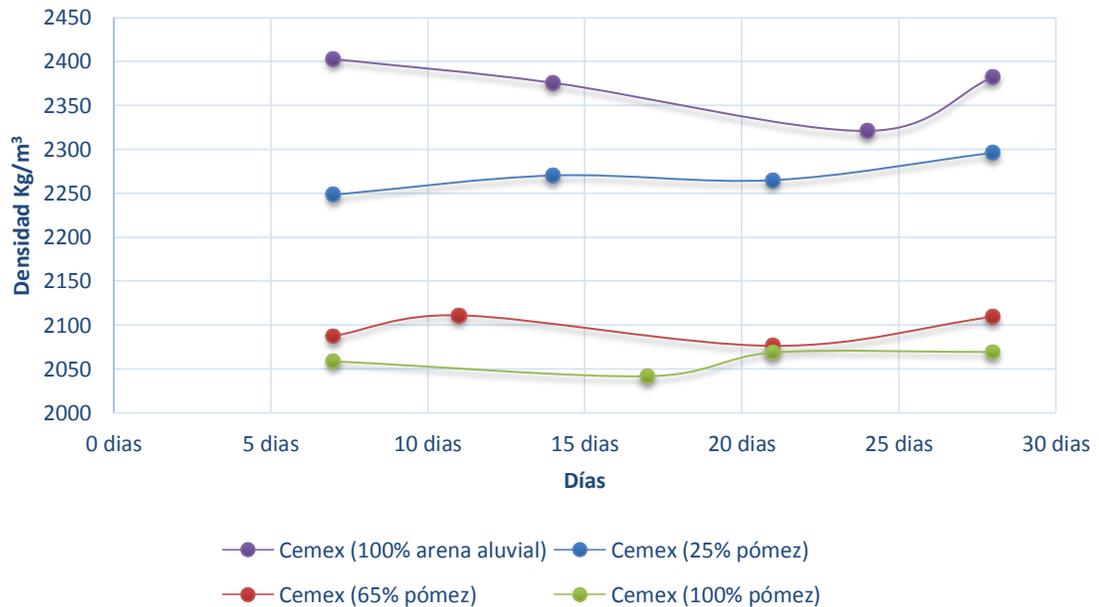
	DIA 21			DIA 28		
	Peso Promedio	Densidad (kg/m ³)	Diferencia %	Peso Promedio	Densidad (kg/m ³)	Diferencia %
Cemex (100% arena aluvial) Muestra de	3.65	2321.12		3.74	2382.66	
Cemex (25% pomez)	3.56	2265.09	2.41% 56.0 kg/m ³	3.61	2296.29	3.62% 86.4 kg/m ³
Cemex (65% pomez)	3.26	2076.44	10.54% 244.7 kg/m ³	3.31	2109.55	11.46% 273.1 kg/m ³
Cemex (100% pomez)	3.25	2068.80	10.87% 252.3 kg/m ³	3.25	2069.44	13.15% 313.2 kg/m ³

Fuente: propia

Como se puede observar la densidad del concreto donde se mezcló la arena aluvial y la arena pómez presenta una disminución significativa a medida aumenta la cantidad de arena pómez fluctuando en un rango entre 3% y 13.5% en comparación con la muestra de control, a su vez el reemplazo total de la arena aluvial presenta una disminución de un 13% del peso total de un metro cubico de concreto (aprox. 313kg) lo que dentro de una obra puede significar una gran diferencia en cuanto a las cargas muertas de la estructura y su posterior comportamiento.

El concreto hidráulico elaborado no se encuentra dentro de los rangos de los concretos ligeros ($300\text{kg/m}^3 - 1.850\text{kg/m}^3$)¹² puesto que su densidad seca varía entre 2100kg/m^3 y 2000kg/m^3 en reemplazo total por arena pómez, no obstante esta presenta una gran porosidad donde se puede alojar una gran cantidad de agua y requerir de un mayor tiempo de secado para encontrar un estado superficial mente seco (SSS) en el concreto elaborado.

Gráfica 4 Densidad Vs Días de curado



Fuente: propia

Como se observa en la **gráfica 6** la densidad de las muestras se ve comprometida a medida estas evolucionan en sus etapas de curado, no obstante la muestra elaborada con un 100% de arena pómez presenta la menor densidad aunque a esta muestra le fue suministrada una mayor cantidad de agua en el proceso de mezclado debido a la baja cantidad de esta en la arena de piedra pómez.

¹² SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. Colección del Concreto -Tecnología del Concreto – Tomo 2: Manejo y Colocación en Obra, Tercera Edición. Bogotá D.C: editorial Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO, 2013. p57.

8.7.2 Resistencias de las muestras

Tabla 22 Promedios de las resistencias de las muestras en los días 7 y 14

	DIA 7			DIA 14		
	Resistencia (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Diferencia % Respecto al control	Resistencia (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Diferencia % Respecto al control
Cemex (100% arena aluvial) Muestra de	129.90	168.70		153.80	199.74	
Cemex (25% pomez)	95.47	123.98	26.51%	109.93	142.77	28.52%
Cemex (65% pomez)	88.37	114.76	31.97%	92.70	120.39	39.73%
Cemex (100% pomez)	113.77	147.75	12.42%	130.73	169.78	15.00%

Fuente: propia

Tabla 23 Promedios de las resistencias de las muestras en los días 21 y 28

	DIA 21			DIA 28		
	Resistencia (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Diferencia % Respecto al control	Resistencia (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Diferencia % Respecto al control
Cemex (100% arena aluvial) Muestra de	171.27	222.42		174.23	226.28	
Cemex (25% pomez)	136.50	177.27	20.30%	146.33	190.04	16.01%
Cemex (65% pomez)	115.67	150.22	32.46%	132.93	172.64	23.70%
Cemex (100% pomez)	137.27	178.27	19.85%	150.87	195.93	13.41%

Fuente: propia

Como se puede observar la diferencia en las resistencias entre la muestra de control y las muestras con diferentes porcentajes de piedra pómez varía entre el 16% y 40% en los diferentes días del curado, esto puede deberse a que la mezcla de la arena aluvial y la arena de piedra pómez no generan un material granular de gradación suficiente para generar un enlace resistente y cohesivo.

Por otra parte ninguna de las muestras alcanzo la resistencia de diseño 30MPa (306kg/cm²), esto se presenta ya que el método de diseño gráfico estipula una disminución de la resistencia final, no obstante conviene de una mejor manera la mezcla de agregados no controlados de los cuales se dispuso. El método también fue utilizado mezclando los dos tipos de arenas en una granulometría combinada **grafica 6** con el fin de obtener la mejor proporción, esto modifiko no solo su diseño si no que afecto en gran medida la resistencia ultima obtenida.

La resistencia de la muestra con 100% de arena pómez obtuvo una diferencia del 13% de resistencia en comparación con la muestra de control, además su resistencia obtuvo un comportamiento lineal de acuerdo a lo estipulado por la normativa. Su decrecimiento en comparación con la resistencia de diseño es del 36% mientras que el de la muestra con arena aluvial es del 26% lo que nos indica que su comportamiento dentro del diseño no resulto tan satisfactorio como el del concreto normal, no obstante se debe tener en cuenta que es un material nuevo del cual se desconocen muchas propiedades y su comportamiento puede ser sobre estimado por el método de diseño ya que este último ha sido teorizado a partir de concretos tradicionales.

Tabla 24. Muestra 100% en los diferentes días



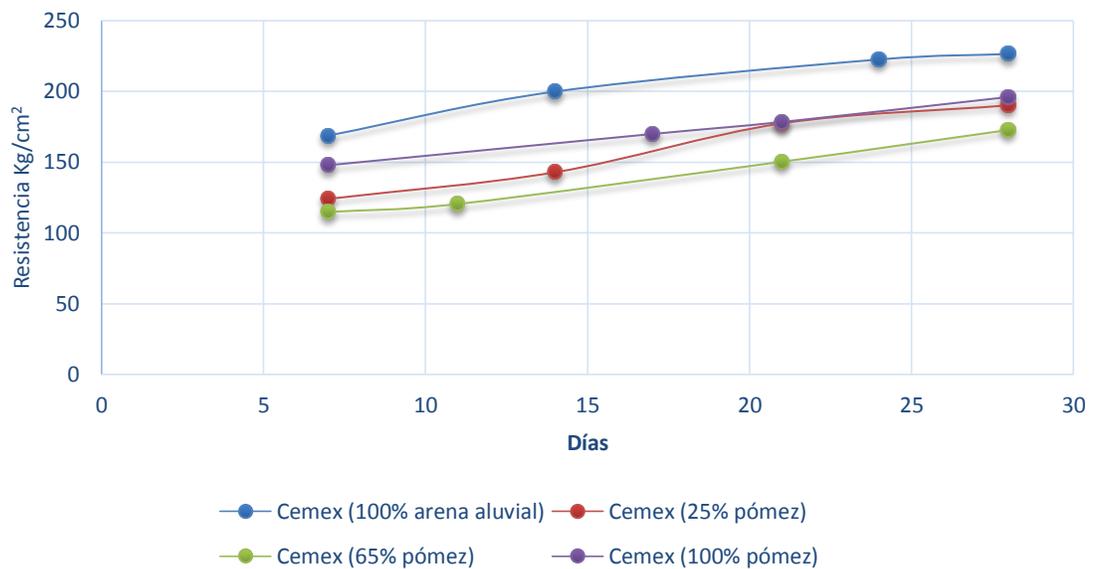
Fuente: Propia

Los tipos de falla presentados de acuerdo a la rotura de los cilindros, muestran un comportamiento de cambio volumétrico, el cual se presenta con grietas de acolumnado vertical y conos parciales en las caras superficiales. Determinando

así que la falla atraviesa parcialmente las probetas de concreto. Esto último indica que las muestras lograron llegar a un estado monolítico y no presentaron mecanismos de falla fuera de los usuales en los concretos, más se especifica que por falta de vibración y/o mejor distribución de los agregados no se logró llegar a las resistencias esperadas.

Por último la resistencia obtenida en las muestras de concreto con 100% arena aluvial fue de 226.28 Kg/cm² y las muestras de concreto con 100% arena pómez fue de 195.93 Kg/cm² a la edad de 28 días, se determina que el concreto elaborado con arena de piedra pómez en un 100% no alcanzo la misma resistencia que la muestra de control, demostrando así que la arena pómez como material granular no obtiene las mismas propiedades que la arena aluvial o normalmente utilizada.

Gráfica 5 Resistencia Compresión Vs Días de curado

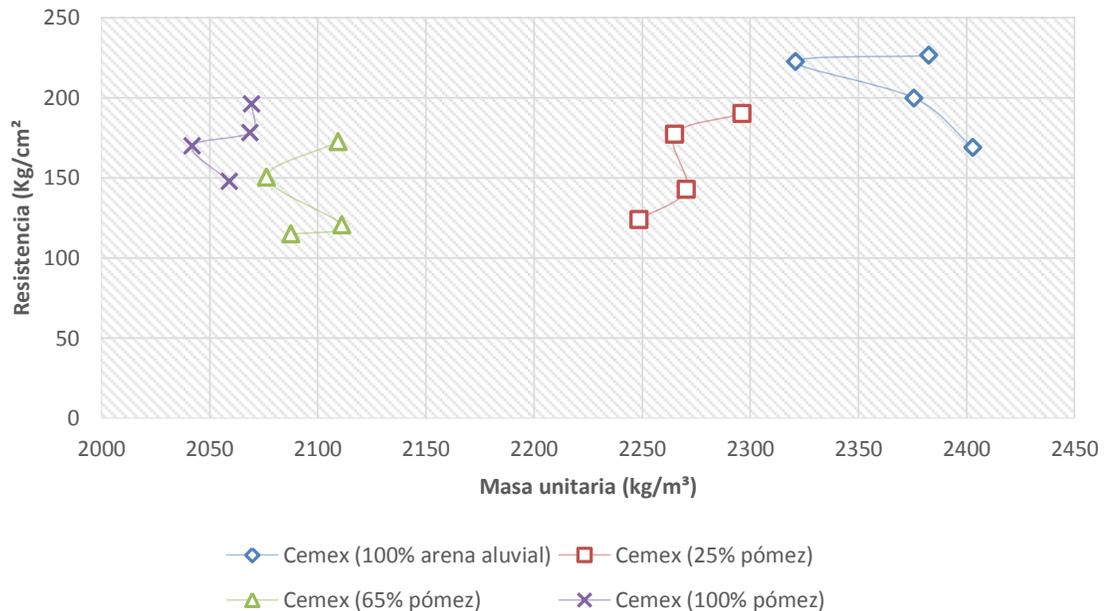


Fuente: propia

Como se muestra en la **gráfica 7** la resistencia más alta alcanzada fue la presentada por el concreto de control y el concreto elaborado con solo arena de piedra pómez, mientras que sus combinaciones muestran una resistencia más

baja, siendo que al combinar la arena pómez y la arena aluvial, no se encontrará una proporción en la cual los dos materiales se comportaran de manera eficiente.

Gráfica 6 Resistencia a la Compresión Vs Densidad



Fuente: Propia

Como se puede observar en la gráfica anterior comparando las densidades junto a las resistencias a compresión simple ganadas por el concreto, se confirma que la muestra control presenta una densidad mayor junto a una mayor resistencia, mientras que las probetas combinadas encuentran en un rango de resistencias menores a medida disminuyen sus densidades, mientras que el reemplazo en un cien por ciento de la arena pómez logra mantener una resistencia cercana a la ideal siendo aún la más ligera de todas las demás. Todo lo anterior confirma que la resistencia del concreto hidráulico, está ligada directamente a la densidad del mismo.

La implementación de la arena de piedra pómez puede ser difícil de manejar puesto que se deben hallar aun los costos beneficios que pueda tener una estructura siendo que al tener un menor peso podría disminuir los costos en aceros de refuerzos, cimentación y dimensión de los elementos estructurales.

Por último se resalta la facilidad de manejo del concreto con arena de piedra pómez puesto que esta permite junto con la pasta cementante una mejor

distribución del agregado grueso y la posterior vibración del concreto hidráulico. También se estipulo que la arena de piedra pómez al ser humedecida con anterioridad al mezclado, permitiría un mejor curado interno del concreto liberando el agua atrapada de manera que el concreto ganara mayores resistencias en los primeros días de curado, ya que las probetas fueron sumergidas en agua, la diferencia entre el porcentaje de la resistencia ganada por la muestra control y la elaborada en su totalidad con arena pómez no presentaron gran diferencia como lo muestra la siguiente gráfica:

Tabla 25 Porcentaje de resistencia alcanzado en los diferentes días

Porcentage de resistencia		
Muestra Control	100% Arena Pómez	Días
74.56	75.41	7
88.27	86.65	14
98.30	90.99	21
100.00	100.00	28

Fuente: Propia

Tabla 26. Resultados ensayo de Absorción en frio y caliente

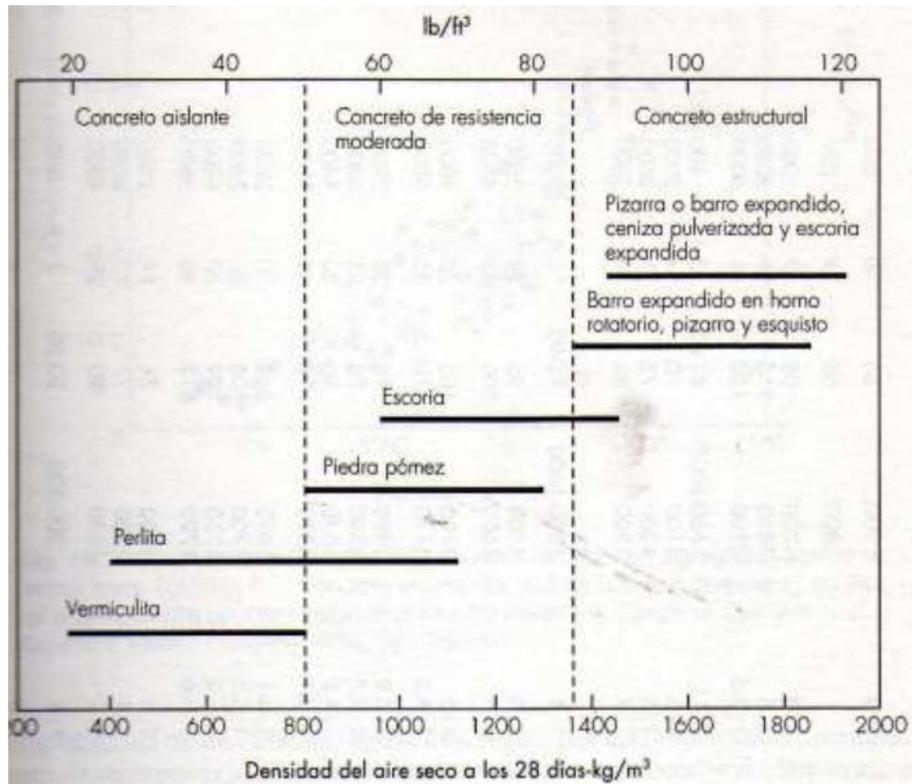
Muestra	kg/cm2	Absorción después de inmersión		Absorción después de inmersión y ebullición		Porosidad		Calificación según ASTM C 642	Diferencia de absorción	M. Unitaria a los 28 días kg/m3
						Vol. Vacios	Promedio			
Muestra de control	226.28	5.13	4.59	5.26	4.70	12.30	12.17	Moderada calidad	0.11	2382.66
		4.12		4.23		12.50				
		4.53		4.61		11.70				
25% Pómez	190.04	7.30	6.86	7.84	7.20	16.90	16.57	Durabilidad inadecuada	0.35	2296.29
		6.76		6.93		16.30				
		6.51		6.84		16.50				
100% Pómez	195.93	10.20	10.47	10.77	10.86	19.40	19.30	Durabilidad inadecuada	0.39	2069.44
		10.70		10.94		18.30				
		10.50		10.87		20.20				

Fuente: Propia

Realizado el ensayo de absorción en frio y caliente por el método estipulado en la norma ASTM C 642, se procedió a calificar la durabilidad de los concretos en los cuales se encontró que poseen una alta absorción por la utilización de la arena pómez como agregado fino del concreto elaborado, estos presentan al igual una alta porosidad clasificándolos así como un concretos de durabilidad inadecuada puesto que permitirían la intromisión de agentes externos hacia los elementos de

refuerzo, no obstante la medida de la porosidad puede ofrecernos un panorama parcial de la posible carbonatación que pueda sufrir el material, no por el material poroso utilizado como árido, si no por el material cementante el cual puede llegar a estar expuesto a condiciones mucho más severas dentro de la matriz cementicia.

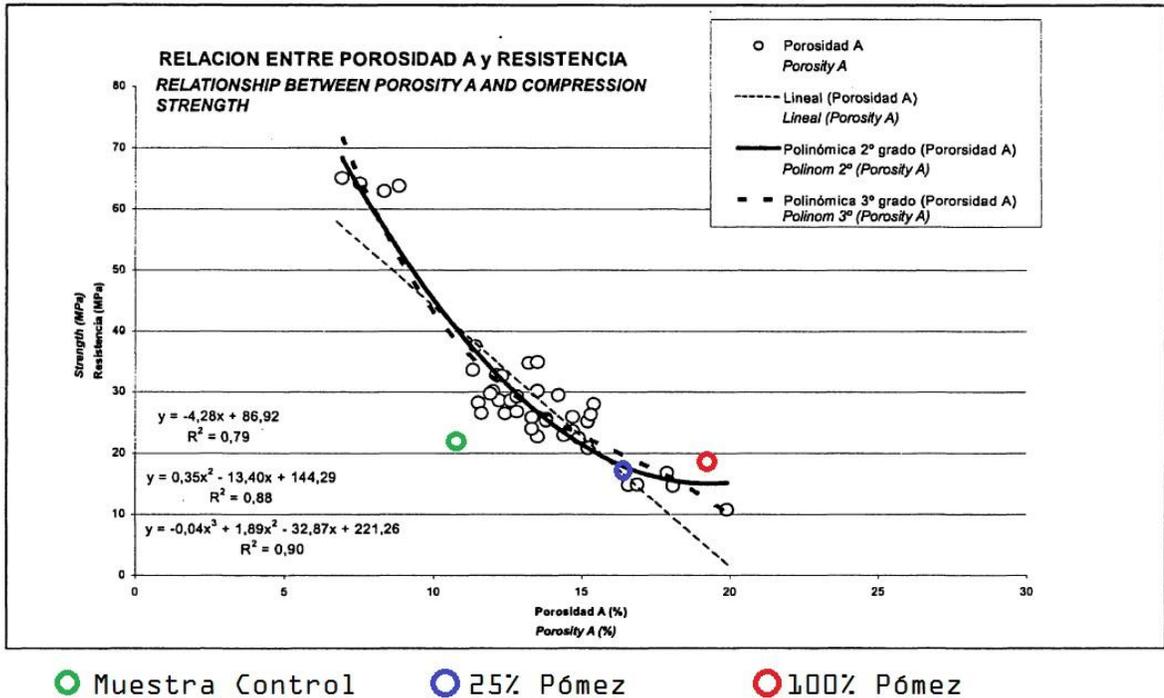
Gráfica 7. Clasificación de los concretos livianos por densidad y resistencia



Fuente: NEVILLE, A. M. y BROOKS, J. J. Tecnología del concreto

En la gráfica 7 se compara la densidad de los concretos junto con sus resistencias esperadas, para las evaluadas en el presente trabajo se encontró que todas las muestras con con la combinación o adición de la arena pómez como agregado fino se encuentran con una densidad superior a los 2000kg/m³ no obstante se clasifican como un concreto pobre puesto que sus resistencias se encuentran por debajo de los 21MPa. Esto se debe a diferentes factores como son; el mal curado por aguas contaminadas, mal manejo de especímenes, máquina de ensayo a compresión simple descalabrada, pobre resistencia del agregado fino utilizado, mala adición de la matriz cementicia.

Gráfica 8. Relación entre la porosidad y resistencia a la compresión



Fuente: OLIVARES, Mario. Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad.

En la gráfica número 8 podemos observar como en investigaciones pasadas se han relacionado la calidad de los concretos livianos, puesto que su porosidad incide directamente en la resistencia de estos, según los resultados obtenidos en el empleo de un 25 y 100% de arena pómez resulta conveniente la utilización de esta misma en su totalidad como agregado fino y no en combinación con otro material, se realizó este último procedimiento esperando que a falta de una mejor distribución granulométrica de la arena pómez el material subsecuente pudiera suplir esta falta, pero por el contrario disminuyó su capacidad de resistencia.

9. CONCLUSIONES

Se identificaron las propiedades de la arena pómez triturada, encontrando que aun en un tamaño granular presenta un alto índice de porosidad, baja densidad y alto índice de absorción.

En base a los resultados se demostró que la arena pómez tiene menor comportamiento mecánico dentro de la mezcla de concreto y este a su vez compromete parcialmente la resistencia del diseño.

El comportamiento obtenido de la combinación entre arena aluvial y la arena pómez se obtuvieron resultados de baja resistencia, la mezcla de estos dos agregados no logra generar un material granular de gradación suficiente para generar un enlace resistente y cohesivo.

El concreto elaborado no se encuentra dentro de los límites establecidos por la comunidad de ingenieros para los concretos estructurales aligerados, pero si presenta una disminución de entre el 13 y 15% del peso de un concreto normalmente fabricado.

A medida que se aumenta el porcentaje de arena pómez dentro de la mezcla de concreto este disminuye su densidad, oscilando en una diferencia de 313Kg respecto a un concreto convencional. Influyendo así en la disminución de la carga muerta estructural.

Se utilizó un curado a temperatura ambiente buscando reducir la tasa desarrollo de la fuerza inicial de las muestras y a su vez que estas aumentaran su resistencia a largo plazo. Debido a la contaminación del agua de la piscina este curado no fue efectivo y redujo significativamente la resistencia de las muestras a fallar, haciendo de los concretos hidráulicos se encontrasen en una resistencia menor a la ideal de 21MPa especificado para construcciones sismo resistentes por la norma NSR-10.

El método grafico para la elaboración de concretos no es el procedimiento más adecuado para la determinación de la mezcla de dos materiales granulares y llenantes del concreto, puesto que puede llegar a reducir su efectividad al no tener mayormente en cuenta factores como la absorción, humedad y porosidad de los materiales.

El agua atrapada dentro del agregado granular de piedra pómez no género un cambio sustancial en la resistencia de los concretos a edades iniciales como se esperaba.

El concreto elaborado parcialmente con la mezcla de arena de piedra pómez y arena aluvial no es viable para su producción y uso en obra, puesto que su baja resistencia y alto costo lo hacen inviable.

Reemplazando en su totalidad la arena comúnmente utilizada por arena de piedra pómez se pueden obtener resistencias cercanas a las ideales, siendo estos concretos más ligeros que los comunes.

Se confirma como han demostrado anteriormente diversos investigadores que existe una relación entre la porosidad del material y su resistencia.

9.1 RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación haciendo el remplazo de la piedra pómez de manera más detallada, no en porcentajes, si no en pesos retenidos en los tamices asignados en la curva granulométrica para arenas, según la norma INV-E 220.

Se encontraron inconvenientes en el desarrollo de las actividades en el laboratorio por falta de instrumentos, espacio y equipos adecuados en el laboratorio, se recomienda:

- Ampliar el inventario, a falta de camisas se retrasó el desarrollo del proyecto.
- Adecuar horarios hábiles para realizar prácticas libres, puesto que son limitados.
- Mejorar el espacio para poder realizar las prácticas, tales como ensayos de laboratorio y fundiciones. En la facultad hace falta un espacio adecuado para poder realizar proyectos de tesis en materiales, al ser afectada la facultad por el polvo de los materiales se tuvo el inconveniente de suspender actividades porque no se cuenta con un extractor de humo.

Se recomienda el uso de otro tipo de diseño de mezclas de concreto, puesto que el utilizado no logra estimar una combinación y/o procedimiento adecuado el desarrollo óptimo de las resistencias esperadas.

Tabla 27 . Cronograma de Actividades

FASES	ACTIVIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
1. Identificar las propiedades del agregado fino tipo piedra pómez.	1.1 Caracterización del agregado tipo piedra pómez.					
	2.1 Determinar la gravedad específica y el % de absorción de agua de los agregados.					
2. Analizar la compresión axial y reacción álcali-sílice de probetas de concreto con el agregado de tipo piedra pómez triturado como reemplazo de la arena.	2.2 Fundición de probetas con diferentes porcentajes volumétricos de agregado triturado tipo piedra pómez como reemplazo del agregado fino (arena aluvial).					
	2.3 Determinación de la reacción álcali-sílice de las probetas de la muestra patrón y las probetas con contenido de agregado pómez.					
	3.1 Determinación de la densidad y porosidad de las probetas de concreto estructural.					
3 Comparar las propiedades mecánicas de los concretos estructurales ligeros utilizando agregado fino y grueso tipo piedra pómez.	3.2 Ensayos compresión uniaxial en todas las probetas.					
	3.3 Obtención de datos de resistencia, organización y control de los mismos.					
	3.3 Comparación de los resultados de resistencia obtenidos. Piedra pómez como reemplazo de agregado fino VS piedra pómez como reemplazo de agregado grueso en mezclas de concreto.					
	4.1 Determinación del presupuesto en base al diseño e mezcla.					
4. Determinar la viabilidad del concreto con agregado fino piedra pómez y establecer si es óptimo para su producción y uso en obra.	4.2 Determinación de los costos implementado el diseño de mezcla con piedra pómez en obras a gran escala.					
5. Informe final						

Fuente: Propia

10 REFERENCIAS

- ✓ Ensayo de compresión de probetas de hormigón cilíndricas (ASTM C39), Disponible en: <http://www.instron.com.es/wa/solutions/Compression-Testing-Concrete-Cylinder.aspx> [Visto el 12/11/2014]
- ✓ ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO, NTC 673 Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/documentos/47994_Anexo_No.8_NTC673.pdf [Visto el 012/10/2014]
- ✓ GONZÁLEZ, Claudia; MONTAÑO, Ángela; CASTRO, Diana; Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto, El Hombre y la Máquina, núm. 38, enero-abril, 2012, pp. 59-65. [Visto el 09/10/2014]
- ✓ GRUPO CONCRETOS CELULARES Ltda. Colombia ¿Qué es concreto celular?, Antecedentes Del Concreto Celular Y El Concreto ligero (Europa, Estados Unidos y América Latina), Disponible en: <http://concretoscelulares.blogspot.com/p/que-es-concreto-celular.html> [Visto el 09/10/2014]
- ✓ Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio ASTM C192/C192M Disponible en: <http://engineers.ihs.com/document/abstract/QCFGLCAAAAAAAAAAAAA> [Visto el 012/10/2014]
- ✓ Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C39/C39M-14, Disponible en: <http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C39C39M-05e2-SP.html> [Visto el 012/10/2014]
- ✓ SALAZAR, Jaime; ESPERANZA, Libia. Determinación de la condición saturada y seca superficialmente (s.s.s.) de agregados orgánicos para hormigón ligero, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Agrícola, pg1,2012. [Visto el 09/10/2014]

- ✓ T.Y Lo W.C. Tang, A. Nadeem, Comparison of carbonation of lightweight concrete with normal weight concrete at similar strength levels, Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, 83 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong, accepted 22 June 2007. [Visto el 09/10/2014]

- ✓ NEVILLE, A. M. y BROOKS, J. J. Tecnología del concreto. Editorial Trillas. México,1998.

- ✓ OLIVARES, M; LAFFARGA, J; GALÁN, C; NADAL, P; Evaluación de la Resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad, Escuela Técnica Superior de Arquitectura Sevilla, Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Sevilla, España, aceptado 2 Abril 2003. [Visto el 08/10/2014]

11 .GLOSARIO

La gravedad específica: es la relación entre la densidad del agregado y la del agua, todos los agregados son porosos, por lo tanto en la utilización de la piedra pómez se ha de tener en cuenta el peso y el volumen del agua contenida dentro de los vacíos.

La absorción: es incrementar el peso de un agregado poroso seco y llevarlo hasta una condición de saturación reemplazando así todos los espacios vacíos por agua, la absorción no depende solo de la porosidad de la roca, también depende de la distribución granulométrica, contenido de finos, tamaño máximo de los agregados, forma de las partículas

Módulo de finura: es el modulo granulométrico, el cual permite tener una idea del grosor o finura del agregado. Se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices y dividiendo la suma entre 100.

Módulo de elasticidad: es la resistencia del concreto a la deformación, una forma para medir la rigidez, se puede definir como $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación}$. Generalmente al endurecerse el concreto e implementar la carga se obtiene una curva a compresión-deformación cuyo módulo de elasticidad oscila entre 1.4×10^2 y $4.2 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ y se suele asumir como $2.1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$.

Relación de Poisson: se define como la deformación lateral a la deformación longitudinal para muestras cargadas axialmente, para obtener los valores de la relación de Poisson se requieren en el análisis y el diseño estructural, el método para obtener la relación de Poisson se detalla en la NTC 4025. Los datos obtenidos en los concretos oscilan entre 0.15 a 0.25 y se puede utilizar un valor de 0.20.

Fatiga: si se producen muchas repeticiones de carga, uno elemento o una serie de elementos pueden fallar por fatiga, se puede presentar la falla con un esfuerzo menor que el límite de fluencia del material. Una falla por fatiga se da cuando de

forma una grieta en un punto donde se produce alta concentración de esfuerzos, al repetirse el esfuerzo sobre la grieta, esta se extiende poco a poco hasta que se produce una fractura del elemento, el elemento puede ser dúctil pero se evidencia una fractura tipo frágil. La fatiga del concreto no depende únicamente de su resistencia, también depende de otros factores como de las condiciones de humedad, la edad y la velocidad de aplicación de la carga.

Aislamiento acústico: el concreto ligero tiene la propiedad de ser aislante acústico, debido a la implementación de la piedra pómez y a la estructura de esta, se amortiguan las vibraciones producidas en el medio ambiente por medio del impacto, reduciendo así su energía logrando la aislación acústica. También es efectivo por vibraciones producidas por golpes (el aislamiento acústico es superior al peso específico del concreto). Mediante losas, paneles y otros cerámicos se reduce el sonido por efectos aéreos.

Aislamiento térmico: la conductividad térmica del concreto está relacionada con su densidad, debido a su bajo peso específico (por los vacíos dentro del concreto) su estructura le confiere buena capacidad de aislamiento térmico. Se utiliza normalmente en entrepisos, capas de nivelación y azoteas expuestas.

12. ANEXOS

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25- 60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	83 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	-	-	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	-	-	-	-	-	-
487	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	0-5	-	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	10-40	0-15	0-5	-	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-80	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	0-15	0-5	-	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Ensayos para caracterización de agregados



Fuente: Propia

25% pómez a los 28 días



65% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 25% pómez a los 7 días



Fuente: Propia

Muestra 100% pómez a los 17 días



Fuente: Propia

Muestra 100% arena aluvial a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 65% pómez a los 21 días



Fuente: Propia

Muestra 25% pómez a los 21 días



Fuente: Propia

Muestra 25% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 100% pómez a los 21 días



Fuente: Propia

Muestra 100% arena aluvial a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 65% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 25% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 100% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Muestra 100% pómez a los 28 días



Fuente: Propia

Probetas sumergidas para ensayo de porosidad



Fuente: Propia