



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

TITULO:

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS
DEL HORMIGÓN LIGERO, CON AGREGADOS
PROVENIENTES DE PIEDRA PÓMEZ .

.

TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO
REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: ALVARO DANTE LOAIZA TACURY

DIRECTOR DE TESIS: ING. CARMEN TERREROS DE VARELA, PHD

SAMBORONDON, OCTUBRE, 2015

DEDICATORIA

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por cuidarme y bendecirme durante todo este camino dándome la fuerza necesaria para poder superar cualquier obstáculo presentado. A mi familia por estar siempre conmigo y brindarme su apoyo constante en mi formación como persona y como profesional.

A mi tutora la Ing. Carmen Terreros de Varela por brindarme su tiempo y sus conocimientos fundamentales para el desarrollo de la presente tesis, así mismo a todos los profesores que compartieron sus conocimientos y experiencias todos los días lo cual servirá para el desarrollo que tenga de aquí en adelante en mi vida profesional.

ALVARO LOAIZA TACURY

RESUMEN

En el trabajo presentado a continuación se realizó una investigación acerca de la utilización de la Piedra Pómez como agregado fino y grueso para la confección de hormigones, cuya característica fundamental es la reducción de su peso, constituyendo los llamados hormigones livianos o ligeros como también se les conoce.

La estructura del trabajo viene dada por cuatro capítulos bien estructurados los cuales forman el cuerpo fundamental de la tesis.

En el Capítulo 1 se detalla toda la situación del problema, hasta la formulación de los objetivos, y la justificación de la investigación.

En el Capítulo 2, se da una explicación de todo el estado del arte del trabajo, o sea, el marco referencial, ahí podemos ver la clasificación de los hormigones, las características de los hormigos ligeros, sus propiedades físico – químicas, las ventajas y desventajas, las características de los componentes del hormigón y el uso de la Piedra Pómez en algunas investigaciones.

En el Capítulo 3, se ha realizado todo el Diseño de la experimentación, así como los ensayos fundamentales efectuados a las probetas de hormigón elaboradas.

En el Capítulo 4, se realiza un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

En el Capítulo 5 se dan conclusiones del trabajo y se recomiendan cosas a tomar en cuenta para las futuras investigaciones con este tema.

ABSTRACT

In the following work presented, it has been realized an investigation about the use of pumice as a fine and coarse aggregate for the manufacture of concrete, whose main characteristic is reduce its weight, constituting the called lightweight concretes as they are known as well.

The structure of the work is given by four well-structured chapters which form the main body of the thesis.

In Chapter One, it is described the whole problem situation till the objectives formulation and the research justification.

In Chapter Two, it is given the explanation of all the art status, it means, the referential frame, where we can see the classification of concrete; also, the characteristics of lightweight concrete, such as its properties physical and chemical, and the advantages and disadvantages. Furthermore, the characteristics of the concrete components and the use of pumice in some research.

In Chapter Three, the entire design of the experimentation was done; also, the fundamental tests conducted to elaborate concrete specimens.

In Chapter Four, it performed an analysis of the results obtained on the laboratory tests performed.

In Chapter Five, the conclusions of the work are given and also some recommendations to consider for future research on this topic.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Sistematización del Problema.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.	4
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	5
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1. Hormigón.....	6
2.2. Clasificación y Propiedades del hormigón	6
2.2.1. Propiedades fundamentales del hormigón fresco.....	8
2.2.2. Propiedades fundamentales del hormigón endurecido	8
2.3. Hormigón Ligero	11
2.3.1. Definición de hormigones ligeros	11
2.3.2. Clasificación de los hormigones ligeros	12
2.3.3. Principales desventajas de los hormigones ligeros.....	13
2.3.4. Uso y Aplicaciones de los hormigones ligeros	13
2.4. Características Físico - Químicas.....	14
2.4.1. Resistencia Mecánica.....	14
2.4.2. Aislante Térmico	15
2.4.3. Aislante Acústico	15
2.4.4. Resistencia al fuego	16
2.4.5. Retracción.....	16
2.4.6. Absorción de agua	16
2.4.7. Durabilidad	16
2.4.8. Adherencia.....	17
2.4.9. Curado Interno	17
2.4.10. Módulo de Elasticidad	17

2.5. Características de los componentes del hormigón.....	18
2.5.1. Agua.....	18
2.5.2. Cemento Portland	19
2.5.3. La Piedra Pómez como agregado Grueso y Fino.....	21
2.5.4. Análisis Granulométrico	23
2.5.4.1. Granulometría del Agregado Fino	24
2.5.4.2. Granulometría del Agregado Grueso.....	25
2.5.4.3. Módulo de finura.....	27
2.5.4.4. Peso volumétrico varillado	27
2.5.4.5. Peso volumétrico suelto	28
2.5.4.6. Gravedad específica y absorción del agregado	28
2.5.4.7. Preparación de la muestra.....	29
2.5.4.8. Procedimiento	30
2.5.4.9. Contenido de humedad del agregado fino	30
2.6. Ensayos de Resistencia a la compresión.....	30
2.7. Ensayos de Resistencia a la flexión	31
2.8. Revenimiento	32
2.9. Uso de Aditivos.....	33
2.10. Utilización de la piedra pómez como agregado en los hormigones ligeros.....	34
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA EXPERIMENTACION Y ENSAYOS	37
3.1. Formulación de la Hipótesis	37
3.2. Cálculo de los componentes de la mezcla	37
3.2.1. Cálculo de la Cantidad de agua requerida	37
3.2.2. Cálculo del Contenido de Cemento.....	38
3.2.3. Determinación del volumen aparente de Árido Grueso.....	39
3.2.4. Cálculo del peso del Agregado Grueso	40
3.2.5. Cálculo del volumen efectivo de cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado	40
3.2.6. Calculo del Volumen de Árido Fino.....	40
3.3. Ensayo Base	41
3.3.1. Elaboración de la mezcla para el llenado de las probetas para realizar los ensayos de Compresión	42
3.3.2. Características que deben cumplir los moldes	42

3.3.3. Características que deben cumplir las varillas.....	43
3.3.4. Requerimientos de las probetas a ensayar.....	43
3.4. Propiedades del Hormigón utilizado en los ensayos	43
3.4.1. Granulometría de la Piedra Pómez gruesa	44
3.4.4. Granulometría de la Piedra Pómez fina	47
3.5. Ensayos al Hormigón endurecido	49
3.5.1. Ensayos de Resistencia a la compresión.....	49
3.5.2. Ensayos de Resistencia a la flexión.....	62
3.6. Análisis Comparativo de dos metodologías.....	68
CAPITULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	71
4.1. Discusión y Análisis de los materiales utilizados	71
4.2. Análisis de los ensayos al hormigón en estado fresco	71
4.2.1. Ensayo de resistencia a la compresión	72
4.2.2. Ensayos a flexión en vigas.....	73
4.3. Análisis de costos	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1. CONCLUSIONES	77
5.2. Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS	82
ANEXOS No.1	82

INTRODUCCIÓN

Los hormigones livianos o ligeros están compuestos de elementos que lo hacen tener esas características muy peculiares, como son las arcillas, pizarras y escorias expandidas procedentes de plantas industriales, agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz, piedra pómez, etc., existiendo una gran variedad de hormigones livianos, diferenciándose precisamente por los materiales utilizados en su elaboración, teniendo solamente en común la utilización de cemento y agua. (Arce, 1997).

Dentro de las características fundamentales están, que decrece notablemente su densidad y peso, lográndose una resistencia adecuada y con el consiguiente aligeramiento de los elementos de la construcción. Por tal motivo la problemática esta en lograr aligerar el hormigón y mantener las características que garanticen los parámetros de resistencia necesarios.

Dentro de las ventajas que presenta los hormigones ligeros están: disminución del peso en estructuras, colocación y acabado más económico, fraguado uniforme, baja densidad, buena trabajabilidad, bajo módulo de elasticidad. Entre las desventajas están que la resistencia está por debajo de la resistencia de los hormigones convencionales.

El uso de la Piedra Pómez como elemento liviano en el hormigón se refleja en múltiples investigaciones, para determinar las proporciones optimas de los componentes del hormigón utilizando cemento, agua y piedra pómez como agregado grueso y fino se realizaron ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El hormigón prefabricado es un material casi sin precedentes dentro de la arquitectura e ingeniería. Aunque se puede decir que nace en el siglo XX producto de la moderna tecnología, también es cierto que está enraizado en la historia por sus viejos orígenes como material, el hormigón en sus formas más imperfectas.

En un principio el hormigón utilizado por los romanos fue una revolución tecnológica en la construcción. Posteriormente el hormigón desapareció de la historia hasta la invención por Joseph Aspdin, del cemento Portland, 1824 en Inglaterra. Las investigaciones del material llegaron a fijar definitivamente sus cualidades y bases teóricas para su difusión. Se puede decir que, con la llegada del Cemento Portland y el Hormigón Armado, se abrió una nueva era.

El hormigón se caracteriza por sus cualidades y usos actuales como moderno y versátil. Las mejoras en las técnicas de dosificación, mezclado, colocación, acabado y curado, han conseguido cualidades fiables del hormigón y han permitido que la resistencia se haya incrementado en las últimas décadas. Otras cualidades importantes tales como la durabilidad y el aspecto externo también se han tomado en cuenta en su desarrollo.

El hormigón, por sus cualidades de producción, parecía el material idóneo para la industria, la cual necesitaba producir grandes cantidades para disminuir los costos, pero seguía siendo elemento que encarecía la obra a pesar de su desarrollo espectacular. Por otro lado la demanda de una arquitectura, necesitada de variedad en los procesos de fabricación, lo cual también repercutió en el freno de la prefabricación pesada. En este sentido en la actualidad, gracias a la mecanización del proceso industrial, ha cambiado radicalmente y ya es posible encargar grandes piezas prefabricadas de hormigón a medida (Sánchez, 2010).

La historia del hormigón ligero en Ecuador está unida a individuos conscientes de que se encuentran ante un nuevo material y que proyecta desde las innovadoras posibilidades que se le ofrecen. Surge por la necesidad de reducir gastos y tiempos de ejecución, según la GPE INEN 009 (Guía popular de construcción Sismo Resistente) a fin de disminuir la masa de la construcción.

Con la utilización de los hormigones ligeros es posible lograr buenas características, mediante el empleo de materiales con pesos menores que si se usaran los materiales tradicionales, con apreciables resultados en cuanto a su economía y durabilidad. (Bibé, 2005)

1.2. Planteamiento del Problema.

Los hormigones convencionales tienen la característica de tener un elevado peso, y encarecerse debido a los agregados que utiliza para su construcción. Una alternativa es el uso de hormigones ligeros, lográndose con esto aligerar considerablemente el peso de la construcción y a su vez los costos con la utilización de materiales comunes.

El uso de la piedra pómez como agregado en el hormigón disminuye notablemente el peso del mismo y abarata los costos de producción. Debido a la indeterminación exacta de la absorción de agua por parte de la piedra pómez, se necesita realizar un diseño de mezclas para buscar la dosificación óptima, que garantice una resistencia mínima y realizar los ajustes pertinentes a partir de ensayos de diferentes dosificaciones hasta lograr las resistencias previstas para los elementos estructurales a diseñar (densidad, trabajabilidad y resistencia).

Las vigas de hormigón ligero con piedra pómez triturada, deben soportar las cargas actuantes, como son el peso de los elementos de la construcción, soportar tanto las fuerzas de flexión como las de tracción para lo cual han sido concebidas. A su vez se deben abaratar los costos de la infraestructura con la utilización de materiales comunes en la naturaleza.

1.3. Sistematización del Problema.

1. ¿Cuál es la capacidad de resistencia (compresión, flexión) de un cilindro de hormigón ligero convencional de dimensiones y cargas conocidas?
2. ¿Cuál es la capacidad de resistencia (compresión, flexión) de una viga de hormigón de piedra pómez de dimensiones y cargas conocidas?
3. ¿Cuál es la dosificación óptima del componente en la fabricación de vigas de hormigón ligero utilizando solo piedra pómez?
4. ¿Cómo influye en la resistencia a la compresión y a la tracción del hormigón si añadimos piedra pómez como único agregado?
5. ¿Cuál es el costo de la construcción de hormigones ligeros utilizando piedra pómez como único agregado?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar una dosificación óptima para un hormigón ligero utilizando la piedra pómez como único material, para lograr una mayor resistencia a flexión.

1.4.2. Objetivos Específicos.

Los **Objetivos Específicos** se enuncian de la siguiente forma:

1. Determinar la mezcla óptima del hormigón de piedra pómez como único agregado por medio de ensayos de laboratorio.
2. Comparar las resistencias a flexión y compresión usando diferentes dosificaciones.
3. Plantear las ventajas y desventajas del uso de la piedra pómez como único agregado para la realización del hormigón.

1.5. Justificación e importancia de la investigación.

Establecer las proporciones de los distintos componentes para la elaboración de una mezcla de hormigón ligero que satisfaga las condiciones de laborabilidad, docilidad (es decir que se pueda transportar y colocar con facilidad) que sea homogéneo, que sea duradero, que tenga una cohesión y una consistencia adecuadas y alcance las resistencias características esperadas.

Según la Norma EHE-08 (Instrucción de hormigón estructural), en las propiedades de resistencia mecánica de los hormigones ligeros estructurales influyen las características que tengan los áridos ligeros que se utilicen, las proporciones que adicionamos a la mezcla, otras características como el grado de saturación previa que tenga, el lugar donde se extraiga el mismo le dará propiedades específicas inherentes a este tipo de árido y de esta forma influirá en el producto final conformado. Por esta razón, los componentes que conforman el hormigón fundamentalmente los áridos ligeros, sus proporciones, el procedimiento que se utilice en su preparación para el mezclado, hay que estudiarlos con anterioridad detalladamente a fin de obtener un tipo de hormigón aligerado que posea las propiedades y características mecánicas deseadas para ser utilizados con los fines y exigencias para lo cual se ha creado.

El hormigón de piedra pómez puede ayudar a ciudades de la sierra donde existe mayor cantidad de canteras con este material, lo cual significaría un ahorro al momento de construir puesto a que obtendrían los agregados de un mismo lugar.

Debido a que es una tecnología prácticamente nueva no se encontró normas por lo que se trabajara por medio de dosificaciones. Con la culminación del trabajo se establecerá una metodología para obtener una mezcla óptima para la fabricación de hormigones ligeros utilizando como agregados: cemento, piedra pómez triturada (agregado grueso y agregado fino) y agua.

CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Hormigón

El hormigón es una mezcla de pasta de cemento (cemento y agua) y agregados (grava, arena u otro material). Todos estos componentes se mezclan formando una masa sólida debido a una reacción química que sufre el cemento con el agua.

Los agregados deben estar bien graduados, es decir tendrán variedad de tamaños, en dependencia de la aplicación que tengan. Normalmente la constitución de los componentes de la mezcla tienen las siguientes proporciones: (Terreros, 2011)

- Agregados: del 60 al 75 % del volumen total.
- Cemento: del 7 hasta un 15 % del volumen total
- Aire atrapado: del 1 al 3% del volumen total.

Una característica importante del hormigón sencillo sin ningún tipo de refuerzo, es que se comporta bien a los esfuerzos de compresión, sin embargo presenta baja resistencia a los esfuerzos de tracción, por lo que se debe emplear refuerzos constituidos por barras de acero donde se considere que habrá tensiones, para garantizar la resistencia del mismo.

2.2. Clasificación y Propiedades del hormigón

El hormigón, se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan óptimamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas. Las propiedades requeridas del hormigón fresco están gobernadas por el tipo de construcción y por las técnicas de colocación y de transporte y, las propiedades del hormigón endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura. En general, cada tipo de construcción tiene

requerimientos particulares que dependen de las condiciones climáticas, del sistema constructivo, del tiempo y de los costos de ejecución. (FIHP, 2008)

El hormigón que está compuesto por diferentes agregados, se puede fabricar tanto en el lugar donde se ejecuta la obra o en una planta estacionaria y ser transportado hasta la obra en cuestión. El mismo debe cumplir el propósito para el cual ha sido creado, y satisfacer las condiciones impuestas por el diseñador y el proyecto donde se va a utilizar. En la actualidad conjuntamente con el acero, y el tipo de agregado que se utilice constituye el material de construcción más importante en una obra, en cualquiera de sus aplicaciones y formas de usarse, por lo que requiere de un proceso de control de calidad y verificación, tanto de sus propiedades físicas, como mecánicas. Consecuentemente todos los agregados o componentes de la mezcla, deben cumplir todos los parámetros de control en todo el proceso de fabricación del hormigón, desde el diseño de la mezcla con sus proporciones en dependencia de la aplicación final, su elaboración ya sea mecanizada o manual, si es transportada al lugar de la obra, y de un cuidadoso seguimiento en el cumplimiento de las normas durante el fraguado del hormigón y su posterior endurecimiento. (INEN, 2015)

El hormigón fresco es el resultado inmediato de la mezcla por manipulación o mecanizada de sus agregados o componentes, constituyendo una masa heterogénea donde intervienen materiales sólidos (cemento, arena, gravilla, piedra pómez, etc.), líquidas (agua) y gaseosas (aire), que se distribuyen de forma proporcional cuando el amasado se ha hecho con buena calidad. Desde el inicio mismo del proceso de mezclado se producen diferentes reacciones químicas, que son las que al final condicionan las características definitivas que tendrá el concreto endurecido. Estas reacciones están presentes durante toda la vida de la estructura. (Salinas, 2015)

Las características fundamentales que debe tener un hormigón fresco es que debe ser homogéneo y trabajable, lo que definirá en gran medida, las propiedades del producto final obtenido. Para que el hormigón sea homogéneo, el material debe ser totalmente uniforme, es decir debe tener las mismas propiedades en cualquier punto de su masa.

2.2.1. Propiedades fundamentales del hormigón fresco

Según (Materiales de Construcción II, 2008; Salinas, 2015), las propiedades características en esta fase son las siguientes:

- **Consistencia:** Es la capacidad del hormigón fresco para oponer resistencia a la deformación. Para medir este parámetro se utiliza el ensayo del cono de Abrams, se mide mediante el descenso en centímetros de la mezcla.
- **Docilidad:** Es la facilidad que tiene un hormigón de adaptarse a un molde. Define la trabajabilidad del hormigón, es decir, la facilidad con que se puede llenar un encofrado, así como la posibilidad de hacer que el hormigón recubra perfectamente las armaduras.
- **Homogeneidad:** Es la cualidad de distribución proporcional de todos los componentes en toda la masa del hormigón.
- **Masa específica:** Es la relación entre la masa (kg) del hormigón fresco y el volumen (m^3) que ocupa este. La medición puede realizarse cuándo el hormigón está compactado o antes de compactarlo. La efectividad del método de compactación empleado puede medirse a través del parámetro densidad. La unidad de medida de la densidad es kg/m^3 .
- **Tiempo abierto:** Es el período de tiempo que se produce entre la fabricación del hormigón y cuando empieza a fraguar. Durante este periodo puede manipular el hormigón.

2.2.2. Propiedades fundamentales del hormigón endurecido

La característica de hormigón endurecido se adquiere cuando el hormigón está en la fase final del fraguado.

El hormigón endurecido está compuesto de áridos (tipo de piedras), la mezcla del cemento y el agua forman una pasta de cemento endurecida y las diferentes cavidades producto de la evaporación del agua en exceso, el aire que queda dentro en el proceso.

Según (Materiales de Construcción II, 2008; Salinas, 2015), las propiedades características en esta fase son las siguientes:

- **Densidad:** Es la relación de la masa (kgs) del hormigón y el volumen (m^3) que ocupa el mismo. Para un hormigón de áridos normales (2300- 2500 kg/m^3), con áridos ligeros (800-2000 kg/m^3), y con áridos pesados (3000-3500 kg/m^3).
- **Compacidad:** Es la cualidad del material de alcanzar la máxima densidad permitida para éste. Cuando se logra una alta compacidad del hormigón se disminuye la cantidad de sustancias no deseables presentes en el.
- **Permeabilidad:** Es la capacidad del hormigón de no permitir la entrada de líquidos y gases. La relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento es el factor que más influye en esta propiedad, al aumentar la misma, mayor es la permeabilidad y por lo tanto la posibilidad de penetrar elementos dañinos no deseables al hormigón.
- **Resistencia:** Es la propiedad del hormigón endurecido de resistir fuerzas de compresión, tracción y desgaste. La principal característica de un hormigón es que tenga alta resistencia a compresión, que es el objetivo para lo cual es concebido. La unidad de medida es el MPa (Mega Pascal), llegando hasta 50 MPa en los hormigones normales y 100 MPa en los hormigones de alta resistencia. Los hormigones deben garantizar buena resistencia a la compresión, sin embargo su resistencia a la tracción es baja, pero eso tiene importancia en determinadas aplicaciones. Por otro lado la resistencia a desgaste se debe garantizar en casos de aplicaciones donde se necesite, como son

los pavimentos, donde se utilizan áridos muy resistentes al desgaste y la razón agua - cemento muy bajas.

- **Dureza:** Es una propiedad superficial del hormigón que se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación.
- **Retracción:** Se produce por contracción del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar que es el agua menos fijada en los procesos de hidratación. Para controlar la retracción es importante limpiar los áridos para eliminar las partes más finas, que alteran la hidratación del cemento.

2.2.3. Clasificación de los hormigones según las densidades

- Hormigón Ligero
- Hormigón Normal
- Hormigón de alta densidad o pesado

Hormigón ligero (HL): Alcanzan una densidad de hasta 2000 kg/m^3 . Se pueden fabricar a partir de diferentes materiales como la piedra pómez, las arcillas expandidas y las escorias, también se emplean granulados productores de poros o materiales espumantes.

Hormigón normal (HC): Alcanzan densidades entre 2300 kg/m^3 y 2500 kg/m^3 y se utilizan en su fabricación arena y grava como áridos. En todos los casos se definirá sólo como hormigón, cuando no se refiera a hormigones ligeros o pesados.

Hormigón de alta densidad o pesado (HD): La densidad bruta supera los 3000 kg/m^3 . Los áridos se componen de baritina ó espato pesado, magnetita o fragmento de chatarra.

Existen también hormigones especiales los cuales pueden tener características de densidad como los ligeros o los normales, y poseer otras cualidades relevantes como lo son la alta resistencia, el color, auto compactantes, etc.

Actualmente el desarrollo, fabricación y aplicación del hormigón se rige según normas y códigos.

El hormigón es el material más usado en la industria de la construcción, sin embargo la alta densidad o peso volumétrico de estos que es de alrededor de 2300 kg/m^3 a 2500 kg/m^3 ha sido un inconveniente donde la carga muerta es un factor importante. Es muy pesado para ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), dichas cargas se transmiten a las vigas, estas a las columnas o muros y finalmente a la cimentación y al terreno.

Lo anterior redundaba en construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas. Todo esto se traduce en un elevado costo de la obra.

Para corregir estas insuficientes cualidades del hormigón, se han realizado a través de los años múltiples investigaciones para obtener hormigones de menor peso específico.

En el Ecuador una de las alternativas usadas en la construcción es la utilización de Piedra Pómez para la fabricación de los Hormigones ligeros debido a su existencia en el mercado.

2.3. Hormigón Ligero

2.3.1. Definición de hormigones ligeros

Se denominan “HORMIGONES LIGEROS” a aquellos cuya principal propiedad es su reducido peso, y en los cuales se pueden utilizar una variedad de materiales de construcción de muy diferentes propiedades, y que se asemejan en que el material común entre esos hormigones es el cemento para su elaboración. (Carrasco, 2006)

La disminución de la densidad de estos hormigones viene determinada por la presencia de vacíos en el agregado. La presencia de vacíos ocasiona que disminuya la resistencia del Hormigón, aunque debido a aplicación, la resistencia no es la condición predominante para estos hormigones, y en otros casos se compensa. (Larrea, 2011)

Debido a que los hormigones livianos tienen un reducido peso específico

los hacen determinantes para proyectos constructivos cuyo factor fundamental es la economía. Por otro lado, debido a su gran capacidad como material aislante, tanto acústico, como térmico, y durabilidad lo hacen un material imprescindible para las construcciones modernas. Para lograr la reducción del peso específico en este tipo de hormigones se han seguido diferentes líneas e investigaciones en las cuales se ha llegado a elaborar diferentes tipos de hormigones livianos para múltiples aplicaciones. (Carrasco, 2006)

Cuando hablamos de soluciones constructivas podemos decir que no existe una única solución, sino diferentes alternativas, todas ellas supeditadas a los diferentes entornos que nos encontremos, tanto desde el punto de vista técnico, como económico. Por otro lado a la hora de elegir un tipo hormigón liviano, debemos tener en cuenta que problema debemos resolver y cuáles son los materiales disponibles para conformar éste hormigón. (Carrasco, 2006)

Podemos decir que los hormigones ligeros son un producto de las diferentes investigaciones para obtener una variante constructiva, que reúna diferentes características que al compararla con los hormigones tradicionales, nos brinde propiedades tan importantes como reducción del peso, capacidad aislante y sobre todo que sea económica.
<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

2.3.2. Clasificación de los hormigones ligeros

Por su tipo de aplicación el hormigón ligero: (Valdéz, 2010)

- Hormigón de Relleno: Poseen una densidad entre 300 – 1000 kg/m³. Se caracteriza por tener buena capacidad aislante, poseen baja resistencia por lo que no se usan como elementos estructurales.
- Hormigón Aislante: Poseen una densidad menor de 800 kg/m³, tiene baja resistencia a la compresión.
- Hormigón Estructural o de alto desempeño: Su densidad no es mayor de 1840 kg/m³.

Por el tipo de producción de hormigones ligeros: (Valdéz, 2010)

- Hormigones Celulares.
- Hormigones de Agregados Livianos.
- Hormigones Carnosos o “Sin Finos o de Textura abierta”.

Se puede decir que todas las Tecnologías para la fabricación de Hormigones ligeros, no han penetrado como deberían en el ámbito profesional de la Industria de la Construcción. De ahí que el objetivo del estudio de los mismos trata de difundir estos hallazgos, se busca disertar de manera breve pero concisa acerca de cómo se usan típicamente los hormigones ligeros.

2.3.3. Principales desventajas de los hormigones ligeros

- No son altamente resistentes a la abrasión.
- El mezclado, la transportación y hormigonado requiere especial precaución.
- Las resistencias más elevadas se obtienen con contenidos elevados de Cemento. Puede necesitarse hasta 70% más que con áridos normales.
- Las propiedades del Hormigón además se ven afectadas por la graduación del árido, el contenido de cemento y la relación agua / cemento por lo que se requiere un cuidadoso control.
- Los áridos ligeros tienen mayor y más rápida absorción de agua.
- Debe protegerse a las armaduras de corrosión por la profundidad de carbonatación que puede ser hasta el doble que para áridos normales, requiriendo mayores recubrimientos.
- Las mezclas son más ásperas, lo cual se puede disminuir con el arrastre de aire, reduciendo el requerimiento de agua.
- Todos los áridos ligeros producen hormigones totalmente diferentes entre sí por lo que se requiere un cuidadoso control.

2.3.4. Uso y Aplicaciones de los hormigones ligeros

La utilización de Hormigones Ligeros depende fundamentalmente del

diseño de la mezcla que se use, además del tipo de agregados que se utilice para su elaboración. Dentro de sus usos más específicos están: fabricación de diferentes elementos en construcciones que necesitan ser aligerados, con el disminuir las cargas muertas, como elementos de relleno que no soporten cargas estructurales, para la construcción de obras cuyas características es de buen aislamiento térmico, construcción de edificios en zonas sísmicas, puentes, para el hormigonado de capas de nivelación de losas y pisos. También se utilizan en la producción de elementos prefabricados, como muros de carga y sin carga o muros divisorios. (Valdéz, 2010)

2.4. Características Físico - Químicas

Las características físico - químicas que se presentan por la utilización de los diferentes áridos o el diseño de la mezcla para la elaboración del hormigón ligero presentan ciertas características tomadas en consideración por el personal calificado a cargo del proyecto en cuestión. (Valdez, 2010)

2.4.1. Resistencia Mecánica

En la elaboración de los elementos estructurales la resistencia del material es un requisito fundamental que se debe cumplir, resolviendo los problemas de protección y adherencia a la armadura, que conlleva la exigencia en el aumento del contenido de cemento y de la compacidad. (Iza, 2009)

El hormigón de por sí tiene una larga vida útil, cualidad que lo distingue por sobre otros materiales, pero para que se logre esto, se deberán tomar todas las medidas necesarias en su elaboración, con el objetivo de que se corresponda con la calidad que se necesita para la exigencia de la obra que se ejecute, y este apto para soportar las cargas que le serán aplicadas y cualquier agresividad del medio que lo rodea. (NEC11, 2011)

La propiedad mecánica más fácilmente medible del hormigón es la Resistencia a la Compresión, obtenida ensayando probetas cilíndricas a los 28 días de hormigonadas en una Máquina de Ensayos a Compresión.

También durante el proceso de fabricación del hormigón, podemos controlar la cantidad de agua y cemento que se adiciona, y buscar una relación aceptable, que sea capaz de satisfacer las condiciones de resistencia o agresividad del medio externo. Realizando un control de estas variables, se garantiza que el hormigón tenga una vida útil satisfactoria. (INEN, 2015)

2.4.2. Aislante Térmico

Los hormigones ligeros al ser muy porosos encierran cantidades considerables de aire en su interior por lo que tienen baja densidad, lo que los convierte en buenos aislantes térmicos al presentar baja conductividad térmica, esto produce disminución en las deformaciones por variaciones de temperatura lo que presupone un menor gasto en el consumo de energía de los acondicionadores de aire de edificios, manteniendo una temperatura confortable dentro de los mismos.

2.4.3. Aislante Acústico

Los hormigones ligeros poseen baja conductividad acústica debida fundamentalmente a la presencia de burbujas de aire en la composición de los mismos, lo que provocan alta resistencia al paso del sonido, y los hacen fuertes candidatos a ser empleados en la construcción de paneles y elementos de cubierta en la construcción de edificios. Estas cavidades dentro de los agregados livianos también permiten amortiguar las vibraciones. (Valdez, 2010)

Debido al desarrollo tecnológico, sobre todo en las grandes ciudades el ambiente está cargado de todo tipo de sonidos, muchas veces agresivos al oído humano, que nos impiden realizar las actividades que cotidianamente realizamos, como estudiar, leer, dormir, etc. Una alternativa para minimizar estos factores es precisamente el uso de estructuras aligeradas, las cuales son capaces de absorber gran cantidad de esos ruidos molestos, lográndose un ambiente agradable para la convivencia humana. (Iza, 2009)

2.4.4. Resistencia al fuego

Los hormigones ligeros debido a su estructura peculiar presentan buena resistencia al fuego, que es mayor que los hormigones tradicionales de agregados silíceos porque estos son menos propensos a astillarse. (Carrasco, 2006)

2.4.5. Retracción

El fenómeno de retracción en hormigones ligeros livianos es dos veces superior, que en el caso de los hormigones normales, debido a que se utiliza mayor cantidad de agua en el amasado, producto de la mayor porosidad del mismo y a la mayor capacidad de deformación por el efecto de las tensiones internas.

Por lo tanto, se debe realizar una buena selección de los agregados que conforman un hormigón de este tipo, con el propósito de reducir el fenómeno de la retracción en mayor medida. Una de las formas de minimizar esto es evitar que se endurezca el hormigón muy rápidamente, lo cual logramos humectándolo contantemente. (<http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>)

2.4.6. Absorción de agua

Este parámetro por lo general se mide en porcentajes de agua con relación al volumen aparente del hormigón debido a que el peso específico de los hormigones ligeros varía en límites muy amplios. Para los hormigones ligeros varía entre 18 y 30% y los ordinarios entre 7,5 y 23%. Por otro lado el agua contenida dentro de los poros se puede vincular al deterioro de los hormigones sometidos a congelación, por lo que se puede decir que hay una relación directa entre la absorción de agua y la durabilidad. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

2.4.7. Durabilidad

La durabilidad de una estructura es la capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, que podrían llegar a provocar su degradación

como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural. Los agentes que afectan negativamente a la durabilidad del hormigón son:

- De tipo mecánico: acciones sobre la estructura (uso inadecuado, impactos, etc.)
- De tipo físico: principalmente, las acciones térmicas.
- De tipo biológico: a cargo de bacterias, hongos, algas o musgos.
- De tipo químico: ácidos, sulfatos, álcalis, aguas de pH inferior a 5, líquidos con burbujas gaseosas, etc.
- Otros procesos que afectan la matriz del hormigón como la corrosión en el caso de Hormigón armado.

Los procesos de degradación en las estructuras de hormigón armado son inevitables a lo largo del tiempo y es por ello necesario adoptar las medidas adecuadas en las diferentes fases del proceso constructivo (proyecto, ejecución, puesta en servicio, uso y mantenimiento) para lograr la durabilidad para la cual ha sido proyectado.

2.4.8. Adherencia

En los hormigones ligeros, producto de la rugosidad de la superficie de los áridos utilizados, la adherencia entre la pasta y el árido es mayor que en los hormigones ordinarios. (Hou, Diana E., 2009)

2.4.9. Curado Interno

En el caso de los hormigones ligeros los cuales están fabricados de áridos porosos, el agua se acumula en dichos poros proporcionando una fuente de agua que ayuda al curado interno del hormigón, lográndose un aumento de la resistencia y de la vida útil del mismo. (Valdez, 2010)

2.4.10. Módulo de Elasticidad

En los hormigones estructurales el módulo de elasticidad se relaciona directamente con el tipo árido que tenga el hormigón. En los hormigones ligeros estos son relativamente bajos. (Hou, Diana E., 2009)

Para la determinación del módulo de elasticidad se debe cumplir con lo establecido en las normas ASTM C 469 – 87a

2.5. Características de los componentes del hormigón

Es necesario identificar la procedencia de los componentes que se utilizaran en la experimentación, o sea el tipo y el lugar de donde fue extraído. (Iza, 2009)

Los componentes primarios de la mezcla serán: El cemento Portland IP, como agregado grueso y fino (Piedra Pómez) y agua.

2.5.1. Agua

El agua es esencial para la preparación de hormigones estructurales, se combina con el cemento para formar un material pastoso y mantener unidas las partes de áridos, colaborando con las propiedades mecánicas del hormigón. (NEC 11, 2011)

La calidad del agua es importante en el hormigón, éste componente representa aproximadamente entre 10 y 25% en su volumen total, varía de acuerdo a la dosificación que se utilice. El agua debe cumplir con la Norma ASTM C1602 / C1602M la cual recomienda que al momento del curado del hormigón debemos tratar de realizarla con la misma fuente de agua para evitar que exista alteración en las propiedades del hormigón.

El agua en el amasado del hormigón tiene dos propósitos fundamentales:

1. La hidratación del conglomerante hidráulico, el cemento.
2. Dotar a la masa de laborabilidad suficiente.

Si se utiliza un exceso de agua, esta crea al evaporarse una serie de huecos o capilares que disminuyen la resistencia del hormigón y si se utiliza muy poca la mezcla es poco laborable y de difícil colocación en obra, por lo que es importante el cálculo correcto de la cantidad de agua para la elaboración de la mezcla.

Es de vital importancia que el agua para la elaboración de los hormigones y la protección de las armaduras por lo que es recomendable

la utilización de agua potable, debe estar libre de cualquier sustancia que pueda ser perjudicial para garantizar las propiedades de resistencia, el tiempo de fraguado y la estabilidad volumétrica. No se debe utilizar agua de mar o salinas para el amasado o curado del hormigón ya que su salinidad afecta el acero de refuerzo en el caso de los hormigones armados y pre esforzados. (INEN, 2015)

No deben utilizarse las aguas que contengan yeso (ya sea por contacto con terrenos selenitosos o a causa de yesos procedentes de demoliciones) porque pueden producir corrosión. También debe evitarse la utilización de aguas sulfatadas y en especial las procedentes de alcantarillas porque pueden deteriorar el hormigón si no se utilizan cementos especiales. Tampoco se recomiendan las aguas de lluvia que son demasiado ácidas (PH menor de 5), ni aguas estancadas que suelen llevar materias orgánicas que resulten perjudiciales. No se debe emplear aguas servidas o de desechos industriales o aguas empozadas que contengan algas. Por el contrario tampoco se deben emplear aguas muy puras o de deshielos en las altas montañas. Debe evitarse el agua con elevadas concentraciones de sólidos disueltos o en suspensión.

El agua de mezclado para hormigón pre esforzado o para hormigón que contenga elementos de aluminio embebidos, incluyendo el agua libre de los áridos, no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros. (INEN, 2015)

2.5.2. Cemento Portland

En todo tipo de construcciones el cemento es un material que aglutina los demás componentes, está compuesto por caliza, alúmina y sílice, su fabricación comienza con la trituración en su forma original y una calcinación en grandes hornos a temperaturas de entre 1300 y 1400° C, para formar lo que llamamos Clinker, que al mezclarse con yeso y otros aditivos químicos forman el cemento. El uso del Cemento se hace extensivo a todo tipo de construcciones modernas por sus buenas propiedades de resistencia sobre todo a la compresión y durabilidad. El

cemento, también conocido como cemento hidráulico tiene la propiedad de endurecer y fraguar con el agua. (Terreros, 2011)



Figura 1. Cemento Portland

Se pueden encontrar 5 tipos de categorías de Cemento Portland, las cuales se mencionan a continuación: (Bernal, 2009)

- Tipo I: Es de uso general, el mismo no entrará en contacto con sulfatos ni cloruros. Se utiliza mucho en obras civiles.
- Tipo II: Su utilización es para cuando se espera un ataque moderado de los sulfatos o cuando se requiere un calor de hidratación moderado.
- Tipo III: Se utiliza en construcciones que necesitan un fraguado rápido y de alta resistencia.
- Tipo IV: Es un cemento que seca rápido, requiere bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Tiene gran resistencia al ataque de sulfatos, se utiliza en estructuras expuestas a agua de mar.

Para la realización de nuestra mezcla se empleará el Cemento Portland cuya composición química y características físicas se muestran en las tablas siguientes:

Para la verificación de las especificaciones del cemento se utilizan los ensayos que aparecen en el ANEXO No.1.

2.5.3. La Piedra Pómez como agregado Grueso y Fino

En el caso de la fabricación de hormigones ligeros, los agregados gruesos o finos deben estar acorde a las especificaciones de la Norma ASTM C330.

Los agregados tanto grueso, como fino para la fabricación del hormigón deben estar libres de partículas extrañas, o sea se debe prestar especial atención a la calidad y limpieza de los agregados, la granulometría de los mismos debe mantenerse lo más uniformemente posible durante todo el ciclo de fabricación. Los agregados forman el 75% de la masa del hormigón, de ahí la importancia de establecer los parámetros correctos de los mismos. (INEN, 2015)

Para determinar las propiedades físico – químico de los agregados gruesos y finos se utilizan las normas y ensayos que aparecen el ANEXO No.3.

Dentro de las características de la Piedra Pómez o pumicita, como también se le conoce están: (Valdez, 2010)

- es una roca magmática volcánica vítrea,
- posee baja densidad y muy porosa,
- es de color blanco o gris,
- producto de su formación en su textura quedan espacios vacíos que le dan la porosidad, cualidad que le da un bajo peso unitario, que oscila entre 350 - 800 Kg/ m³,
- se encuentra en estado natural mezclada con cenizas volcánicas y otros componentes, que deben ser eliminados en el procesado,
- es químicamente es un silicato volcánico de aluminio,
- poseen un contenido más de 50% de sílice
- gravedad específica alta entre 2.3 a 2.5,
- textura rugosa,
- su tamaño varía desde muy fino a una pulgada o más.

Por otro lado se pueden fabricar hormigones livianos de buena calidad mezclando la Piedra Pómez como agregado grueso, la arena silíceo o arena producto de la Piedra Pómez como agregados finos y cemento. Se logra un peso específico aparente, entre 650 y 1600 kg/m³. (Carrasco, 2006)

Hay que prestar especial atención en la relación agua cemento, en los áridos ligeros, debido a la capacidad de absorción que presentan los mismos, y pueden llegar a falsear los parámetros previstos.

Si los áridos de encuentran saturados pueden ocasionar que transfieran el agua por capilaridad a la pasta del hormigón alterando la relación “agua/cemento” prevista por lo cual afectaría la resistencia.

Teniendo en cuenta que la Piedra Pómez es un material de elevada absorción y porosidad, para su empleo en la mezcla es más conveniente sumergirlo en agua previamente durante 48 horas y posteriormente escurrirlo al aire durante 24 horas, para ser utilizado en la condición de saturado con superficie seca.

Los agregados previamente saturados con superficie seca, se prefieren a los secos porque absorben menor cantidad de agua durante el mezclado y reducen la pérdida de asentamiento en el tiempo. Es por lo anterior que un dato de gran utilidad es la absorción de agua a los 30 minutos ya que esta representa aproximadamente un 65% de la absorción total a las 24hrs.

Los agregados tienen una gran importancia en el volumen del hormigón puesto a que estos ocupan el 75% del mismo, por lo tanto un agregado que sea de poca resistencia, no va a permitir hacer un hormigón resistente y por demás va a afectar la forma en que se va a comportar el hormigón. Las propiedades físicas y químicas que adquiere, van a tener influencia directa en su comportamiento.

Se debe tener en cuenta que el cemento es más caro que el agregado por lo que resulta más económico poner en la mezcla un máximo de

agregado y un mínimo de cemento, esto también ayudaría a que el hormigón obtenga mayor resistencia y una gran estabilidad al volumen.

En el Ecuador se utilizan diferentes Normas o Especificaciones para poder tener un control de los distintos agregados, los más comunes en el área de la construcción son las Normas ASTM que incluyen entre los más importantes, los siguientes ensayos:

- Forma
- Gravedad Específica
- Granulometría
- Absorción
- Pesos Unitarios de los Agregados
- Desgaste de los agregados en la máquina de los Ángeles

Por eso cuando se compran agregados, debemos tener en cuenta que estos cumplan con sus respectivas especificaciones normalizadas, en caso de no ser así se puede hacer un análisis granulométrico.

2.5.4. Análisis Granulométrico

Mediante este análisis procede a separar las partículas que componen el agregado por tamaños, por medio de un tamizador se determinan los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz utilizado y los porcentajes pasantes de cada tamiz. Los equipos utilizados son los siguientes:

- Máquina tamizadora
- Balanza de precisión
- Tamices
- Bandeja
- Horno para secado de los agregados.

El procedimiento para realizar el análisis granulométrico es el siguiente:

- Se seca el agregado en el horno y al término se anota el peso obtenido de esta muestra.

- Se colocan los tamices en la maquina en forma descendente, es decir el tamiz con el mayor diámetro en su malla irá arriba y terminará en un tamiz que recogerá el material que pase por todos los tamices.
- Se coloca aquí el material obtenido del horno para el respectivo tamizado, el tiempo que debe permanecer el material varía de acuerdo a la granulometría.
- Al final se pesa y se lleva el registro del material retenido en cada tamiz y en su respectiva malla, así mismo con el material que queda en el tamiz del fondo.

2.5.4.1. Granulometría del Agregado Fino

El agregado fino debe cumplir la Norma ASTM C-33/AASHTO M6 en general, pero hay que tomar en cuenta el tipo de obra, la resistencia de la mezcla y del tamaño que se utilice del agregado grueso.



Figura 2. Agregado fino de Piedra Pómez.

En la Tabla 1 se muestra los tamices utilizados para ensayos granulométricos finos.

Tabla 1. Tamices utilizados para ensayos granulométricos finos

Pulg.	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
mm.	4,76	2,36	1,190	0,595	0,297	0,142

En la Tabla 2 se muestran los límites granulométricos del agregado fino, así como las características de los tamices en la Tabla 3.

Tabla 2. Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
3,8" = 9,5mm	100
Nº 4 = 4,75mm	95 - 100
Nº 8 = 2,36mm	80 - 100
Nº 16 = 1,18mm	50 - 85
Nº 30 = 600 um	25 - 60
Nº 50 = 300 um	10 - 50
Nº 100 = 150 um	2 - 10

Tabla 3. Características de los tamices

Tamiz	Peso Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	ASTM C-33
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
Nº 4	31,90	3,19	3,19	96,81	95 a 100
Nº 8	57,90	5,79	8,98	91,02	80 a 100
Nº 16	166,10	16,61	25,59	74,41	50 a 85
Nº 30	247,90	24,79	50,38	49,62	25 a 60
Nº 50	314,50	31,45	81,83	18,17	5 a 30
Nº 100	134,90	13,49	95,32	4,68	0 a 10
Fondo	46,80	4,68	100,00	0,00	
Total	1000,0				

Módulo de Finura: 2,65

2.5.4.2. Granulometría del Agregado Grueso

En la Figura 3 se muestran las características del agregado grueso.



Figura 3. Agregado grueso de Piedra Pómez.

En la Tabla 4 se muestran los Tamices utilizados para ensayos granulométricos gruesos, así como las características de los tamices en la Tabla 5.

Tabla 4. Tamices utilizados para ensayos granulométricos gruesos

Pulg.	2	1, 1/2	1	3/4	1/2	3/8	Nº4
mm.	50,8	38,1	25,4	19,0	12,7	9,51	4,76

Tabla 5. Características de los tamices

Tamiz	Peso Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación
1"	10,2	0,72	0,72	99,28	100
3/4"	92,4	6,53	7,25	92,75	90-100
1/2"	102,6	7,25	14,51	85,49	
3/8"	435,2	30,77	45,28	54,72	20-55
Nº 4	449,3	31,77	77,05	22,95	0-10
Nº 8	260,7	18,43	95,48	4,52	0-5
Nº 16	54,2	3,83	99,31	0,69	
Fondo	9,7	0,69	100,00	0,00	
Total	1414,3				

Módulo de Finura: 3,38

2.5.4.3. Módulo de finura

Se calcula a partir del total de los porcentajes que se han retenido en cada tamiz y es dividido por 100, el resultado en cada uno no debe ser menor de 2.2 ni mayor de 3.1, generalmente se utiliza solo en las arenas.

2.5.4.4. Peso volumétrico varillado

Se coloca el agregado grueso hasta un tercio de la altura del recipiente y nivelamos la superficie del agregado, con la barra compactamos el agregado mediante 25 golpes distribuidos en toda la superficie del recipiente. Se debe tener especial precaución que la barra no golpee el fondo del recipiente.

Se vuelve a repetir la primera parte pero esta vez llenamos el recipiente hasta dos tercios de su altura, se debe tener precaución al momento de compactar no penetre la capa anterior. Se llena el recipiente hasta que rebose y con la barra compactadora se enrasa el material. Por último se determina la masa del recipiente más el agregado, se resta el peso del recipiente y se divide para su volumen.

$$M_c = B - P$$

Dónde:

M_c = Masa del material compactado

B = Masa del recipiente más el material compactado

P = Masa del recipiente

Luego se procede a calcular el peso volumétrico varillado.

$$P_{vv} = \frac{M_c}{V}$$

Dónde:

P_{vv} = Peso volumétrico varillado

V = Volumen del recipiente

2.5.4.5. Peso volumétrico suelto

El peso volumétrico suelto se utiliza cuando los agregados tienen un tamaño máximo de 100 mm, se procede a llenar el recipiente con el agregado; el agregado no debe exceder una altura mayor a 5 cm con respecto al borde superior. Por último mediante fórmulas se saca el peso volumétrico suelto.

$$M_c = B - P$$

Dónde:

M_c = Masa del material compactado

B = Masa del recipiente más el material compactado

P = Masa del recipiente

Después de obtener la masa del material compactado se procede a encontrar el peso volumétrico suelto.

$$P_{vs} = \frac{M_c}{V}$$

Dónde:

P_{vs} = Peso volumétrico suelto

V = Volumen del recipiente

2.5.4.6. Gravedad específica y absorción del agregado

La gravedad específica "Bulk", también llamada Densidad Natural Superficialmente Seca, es la relación que existe entre el volumen de sólidos y el peso seco del agregado; en este procedimiento se descarta los poros que podría tener el agregado.

La absorción del agregado se le vincula a los poros que puedan existir en el mismo agregado, debido a que estos absorben el agua. Para hacer un hormigón, se recomiendan agregados sin poros o casi impermeables.

Los equipos usados en los ensayos son los siguientes:

- Bandeja.
- Balanza con sensibilidad de 0,5 gramos o menos.

- Recipiente cilíndrico que tenga la capacidad para sumergir el recipiente cilíndrico de alambre en el agua.
- Recipiente cilíndrico de alambre con abertura aproximada de 20 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Gravedad específica ``Bulk``

$$Gravedad\ específica = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

A = Masa de la muestra seca

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca

C = Masa de la muestra sumergida en el agua

Porcentaje de Absorción

$$Porcentaje\ de\ Absorción = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

A = Masa de la muestra seca

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca

2.5.4.7. Preparación de la muestra

Lo primero que debemos preparar es la muestra, la cual se obtiene por cuarteo deberá y ser aproximadamente de 5 kg, y que sus partículas se retengan en un tamiz N° 4; posteriormente se procede a lavar la muestra completamente para eliminar las impurezas superficiales.

Luego se seca la muestra en un horno a una temperatura entre 105° - 110° C durante un día entero; se saca la muestra del horno y se coloca dentro de una bandeja llena de agua y se deja reposar por un día. Por último se saca la muestra del agua y se coloca sobre un paño absorbente hasta que la capa de agua haya desaparecido.

2.5.4.8. Procedimiento

- Se debe determinar la masa de la muestra saturada con superficie seca.
- Colocamos la muestra en la cesta de alambre y se la sumerge en el agua y se procede a determinar la masa de la muestra que se ha sumergido.
- Se procede a sacar la muestra del agua y se seca en un horno a temperatura aproximada entre 105° - 110° C.
- Cada dos horas se determina la muestra, cuando no exista variación dentro de dos intervalos consecutivos se procede a secar la muestra.
- Por ultimo determinamos la masa de la muestra seca.

2.5.4.9. Contenido de humedad del agregado fino

Ayuda a determinar la relación agua cemento del hormigón, para determinar el contenido de humedad del agregado fino se debe pesar una bandeja, se coloca la muestra y se pesa nuevamente, luego se forma una capa uniforme en la bandeja, posterior a esto se procede a meter al horno a secar y obtener el nuevo peso.

2.6. Ensayos de Resistencia a la compresión

El valor f'_c representa la resistencia a la compresión, este ensayo permite verificar si el diseño experimentado, es igual al realizado en la obra, los diseños se le realiza a los cilindros estándar, pero por lo general se utilizan cilindros de 6"x 12". Normalmente se realizan roturas a los 7, 14 y 28 días.

Según la Norma (ASTMC39M, 2004) se indica la manera de llevar acabo el ensayo:

- Se realizan las muestras, se recomienda realizar dos o más muestras por cada día de rotura.

- Se dejan las muestras en piscinas para su respectivo curado ya sea en laboratorio u obra.
- Después de esperar que las muestras cumplan con la edad requerida se procede a la rotura del cilindro, se aplicará fuerzas axiales controladas o por deformación.
- Se llevará nota de la resistencia obtenida en cada rotura.

Existen factores que afectan la resistencia a la compresión, los agregados a ser alrededor del 75% del hormigón, deben tener buena calidad para que no afecte la resistencia del hormigón; otro factor es el aire que está atrapado en la mezcla disminuye la resistencia del hormigón por lo que existen métodos de compactación que ayuda a disminuir el problema del aire.

La Máquina de Ensayo a Compresión se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Máquina de Ensayo a Compresión

2.7. Ensayos de Resistencia a la flexión

Se expresa como el Módulo de Rotura (M_r), la unidad de medida es el MPa, al igual que la resistencia a compresión, también se determina mediante la Norma (ASTM C78), la cual dice que se debe cargar a la viga en los puntos tercios, las vigas normalmente arrojan resistencias de hasta el 15% en comparación a la resistencia a la compresión. La manera de llevar a cabo este ensayo se asemeja mucho al ensayo para la resistencia

a compresión, la diferencia es que se realiza en una viga de 15x15x45 cm de longitud.

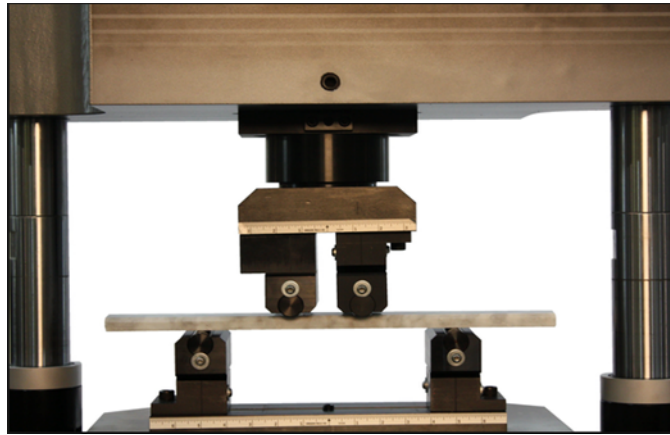


Figura 5. Máquina de Ensayo a la Flexión.

2.8. Revenimiento

Este ensayo se realiza utilizando el cono de Abrams, según la Norma (ASTM C143) que nos proporciona información sobre la trabajabilidad del hormigón. Una mezcla con bajo revenimiento puede llegar a ser más trabajable en comparación a de otra de composición defectuosa con un revenimiento más alto. Este ensayo se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Ensayo del cono de Abrams.

Si el revenimiento es alto puede producir segregaciones en exceso, si la mezcla no tiene buena lechada de cemento o en caso de que la composición del agregado sea defectuosa. Si se necesita un hormigón

fluidos las normas ASTM permiten el uso de plastificantes y si fuese necesario de vibradores que faciliten la colocación del hormigón en la obra. El procedimiento para calcular el revenimiento es el siguiente:

- Se coloca el cono sobre una superficie plana y limpia.
- Se procede a colocar 3 capas de hormigón en el cono, posterior a la colocación de cada capa se procede a compactar con 25 golpes con una varilla redondeada, en la compactación se tiene que evitar llegar con la varilla a la capa anterior.
- Una vez compactada la última capa se procede a quitar el sobrante de la capa superior utilizando la varilla para enrazar.
- Sin hacer movimientos bruscos levantamos el cono.
- Al final colocamos el cono a un lado en forma invertida, colocamos encima la varilla redondeada de tal manera que se extienda hasta la muestra, luego determinamos la diferencia de altura entre el molde y el centro de la superficie de la muestra del hormigón por medio de una regla graduada.

2.9. Uso de Aditivos

Los aditivos para el hormigón tienen como finalidad modificar las propiedades físicas de los agregados cuando se encuentran en estado fresco.

En el presente trabajo de investigación se propuso implementar aditivos en ciertas proporciones con la finalidad de mejorar la mezcla y obtener un mejor resultado.

Se usó el plastificante PLASTIMENT BV 40 como se muestra en la Figura 7, que es un aditivo que ayuda a mejorar la trabajabilidad del hormigón mediante la reducción de agua, cumple con las especificaciones de la Norma ASTM C-494 Tipo A.



Figura 7. Aditivo utilizado

Después de haberle colocado el plastificante se tuvo problemas al momento de desencofrar los cilindros porque se observaba una mayor fluidez, por lo que esperamos algunos días para desencofrarlos pero el resultado fue similar se desmoronaban y no se podrían a utilizar para realizar los ensayos de compresión y tracción. Se muestran en la Figura 8.



Figura 8. Muestra ensayada con el aditivo

2.10. Utilización de la piedra pómez como agregado en los hormigones ligeros

Parhizkar y otros estudiaron que los hormigones de áridos ligeros son ampliamente incorporados en la construcción. En este estudio se presentó una investigación experimental sobre las propiedades de la piedra pómez volcánica como agregados en los hormigones ligeros, se

estudiaron los aspectos físicos – mecánicos y durabilidad de los mismos. Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y el secado muestran que estos hormigones ligeros satisfacen los requisitos de un hormigón ligero estructural. Además, el contenido de cemento es reconocido como un parámetro primordial en el desempeño de hormigones de agregados livianos (Parhizkar, 2012).

Ugur investigó que los hormigones ligeros son utilizados comúnmente en la fabricación de unidades aislantes de calor y de sonido, así como soporte de carga de elementos estructurales. Los agregados porosos más utilizados son las cenizas, perlita expandida, escoria volcánica, piedra pómez, vermiculita, etc. Entre los hormigones ligeros, el de piedra pómez no se considera generalmente apta para soporte de carga. Por esta razón, se ha utilizado principalmente para la producción de tabiques y paredes de panel. Se encontró que el uso de piedra pómez como agregado liviano en combinación con grava triturada y pirofilita fue ventajoso (Ugur, 2003).

Lakshmi Kumar y otros estudiaron que en el diseño de estructuras el hormigón ligero juega un papel destacado, ya que reduce su densidad e incrementa el aislamiento térmico. Se estudiaron las propiedades mecánicas de un hormigón estructural M30 aligerado con piedra pómez agregada, y la adición de materiales gruesos como cenizas volantes y humo de sílice. El ensayo de asentamiento se llevó a cabo para cada mezcla en estado fresco. A los 28 días se hicieron pruebas de resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión, las cuales se llevaron a cabo en el estado endurecido. Los resultados de las pruebas mostraron una buena resistencia y reducción del peso, demostrando que el hormigón ligero se puede utilizar en el propósito de la construcción que se quiere. (Kumar, 2014).

Kilic y otros autores investigaron la influencia de algunos tipos y cantidad de los agregados, en la resistencia a la tracción, la compresión y a la flexión del hormigón. Se usaron diferentes tipos de agregados entre ellos

la piedra pómez. Los resultados de la investigación mostraron que los agregados influyeron en la unidad de peso, resistencia a la tracción, a la compresión, y a la flexión. Además mostró que es posible satisfacer la resistencia de hormigón ligero usando escoria y piedra pómez como agregado. También se vio que con estos agregados en la mezcla pueden reducir la carga muerta, pero disminuyen la resistencia del concreto (Kilic, 2009).

Beycioglu y otros autores estudiaron 25 tipos diferentes de hormigón. La utilización de la piedra pómez como un agregado, además de cenizas y humo de sílice para reemplazar el cemento. Se investigaron las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. El estudio mostró que las muestras tuvieron resistencia a la compresión con características muy diferentes. Se determinó que un aumento en la cantidad de humo de sílice afecta la trabajabilidad del concreto de una manera negativa, mientras que un aumento en la cantidad de las cenizas volantes aumenta la trabajabilidad del hormigón. No se observa ninguna relación significativa en cuanto a términos de dureza superficial y velocidad de transmisión de ultrasonidos (Beycioglu, 2011).

Lura y otros estudiaron el fraguado del hormigón utilizando la estructura de poros de diferentes fracciones de tamaño de agregados de piedra. Las diferentes fracciones de tamaño muestran diferencias en la porosidad, el comportamiento de absorción y distribución de tamaño del poro. Las fracciones de tamaño más pequeñas tienen menor absorción de agua, pero que liberan un mayor porcentaje de su agua absorbida en la humedad relativa de equilibrio de interés práctico en la edad temprana de hormigón, por encima de 90%. Además, las propiedades en edad temprana de los morteros con diferentes contenidos de piedra pómez saturada fueron investigados: una mezcla de referencia sin piedra pómez y se mezcla con 4% y 8% pómez por volumen de mortero. Mediante la adición de piedra pómez, se obtuvo morteros con resistencia mejorada, mayor grado de hidratación y la reducción de la contracción autógena (Lura, 2004).

Sivalinga y otros estudiaron el que hormigón armado de fibra de acero es un material compuesto desarrollado para reducir la fragilidad de hormigón y aumenta su ductilidad. Hormigón armado de fibra de acero se utiliza ampliamente para alinear los túneles y otras estructuras subterráneas, para aumentar el espesor de pavimentos, y para reparar y reforzar diversas estructuras. El aumento de la utilización de materiales ligeros en aplicaciones estructurales está haciendo a la piedra pómez una materia prima muy popular. Se consigue resistencia con el 20 por ciento de sustitución de árido grueso natural por el agregado de piedra pómez y con 1,5 por ciento de fibra de acero. La resistencia a la compresión de hormigón utilizando piedra pómez, aumenta con el contenido de fibra, alcanzando su valor óptimo en el 1,5% de contenido de fibra y después disminuye para diversos contenidos de piedra pómez. (Sivalinga, 2013)

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA EXPERIMENTACION Y ENSAYOS

3.1. Formulación de la Hipótesis

La fabricación de hormigones ligeros o livianos utilizando como agregado la piedra pómez, tanto grueso de tamaño de 12.7 mm, como fino obtenido de un proceso de trituración y tamizado, proporciona alta resistencia con una densidad por debajo a la de los agregados utilizados en los hormigones tradicionales. Para lograr estos propósitos se obtienen mezclas con dosificaciones y relación agua / cemento basadas en experiencia, lográndose construcciones más económicas y duraderas.

3.2. Cálculo de los componentes de la mezcla

Para el diseño de las estructuras de hormigón ligero se emplean las Normas NEC-SE-DS, NEC-SE-CG, NEC-SE-GM, NEC-SE-MP, NEC-SE-RE, NEC-SE-HM.

3.2.1. Cálculo de la Cantidad de agua requerida

Para la determinación de la cantidad de agua por m³ de hormigón y el % de volumen de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado

(20 mm) y del asentamiento de Cono de Abrams (80-100 mm) se emplea la Tabla 6.

Tabla 6. Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados.

Asentamiento (mm)	Cantidad de Agua (kg/m ³ de hormigón para agregados de tamaño máximo)							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	-
Contenido de aire atrapado (porcentaje)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

- Cantidad de agua por m³ de hormigón = 200 kg
- Porcentaje de volumen de aire atrapado = 2.0 %

A partir de la siguiente curva tomada del libro Propiedades del Concreto de A.M. Neville, obtenemos la relación agua/cemento para una resistencia media de 259 kg/cm² a los 28 días. (Neville, 2011)

- Peso del agua/Peso del cemento= 0.61

1.2.2. Cálculo del Contenido de Cemento

- Peso del Cemento=Peso del agua / 0.61
- Peso del Cemento= 200 kg/ 0.61
- Peso del Cemento= 328 kg

La Figura 9 muestra la Relación agua/cemento para una resistencia media.

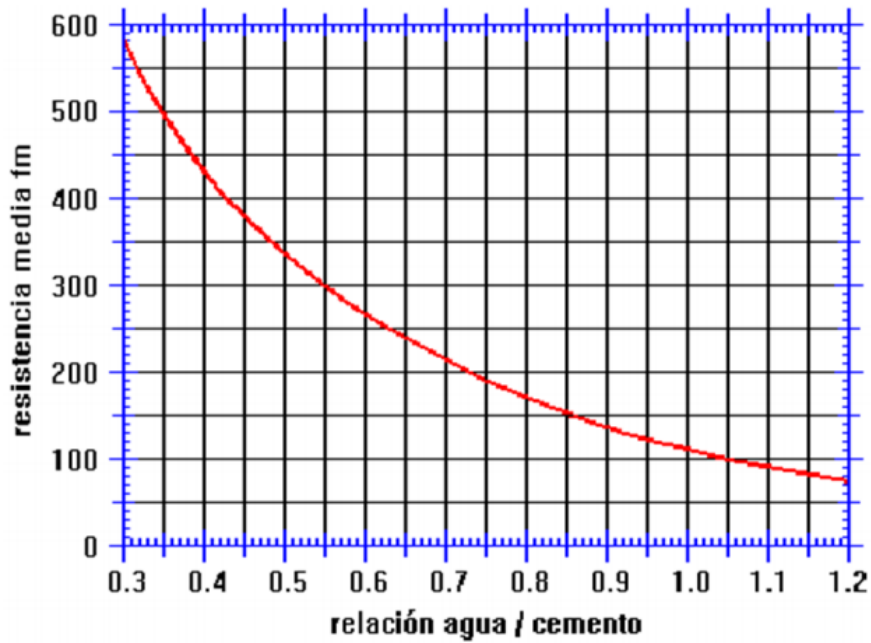


Figura 9. Relación agua/cemento para una resistencia media.

3.2.3. Determinación del volumen aparente de Árido Grueso.

Para el cálculo del volumen aparente del árido grueso se utiliza la Tabla 7 en función del módulo de finura del agregado fino (2.60) y el tamaño máximo del agregado grueso (20 mm).

Tabla 7. Cálculo del volumen aparente del árido grueso.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado con varilla, por volumen de hormigón para módulo de finura de la arena de:			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Volumen aparente del agregado grueso = 0.64 m³

3.2.4. Cálculo del peso del Agregado Grueso

Se determina de la siguiente forma:

- Peso del agregado grueso = Volumen aparente del agregado grueso x Peso específico aparente del agregado grueso.
- Peso del agregado grueso = $0.64 \text{ m}^3 \times 700 \text{ kg/m}^3$
- Peso del agregado grueso = 448 kg

3.2.5. Cálculo del volumen efectivo de cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado

- Volumen de Cemento = Contenido de Cemento / Peso específico del Cemento
- Volumen de Cemento = $328 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento = 0.104 m^3
- Volumen de agua = Cantidad de agua por m^3 de hormigón / Peso específico del agua
- Volumen de agua = $200 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de agua = 0.2 m^3
- Volumen de agregado grueso = Peso del agregado grueso / Peso específico del agregado grueso.

Tomando en cuenta la variabilidad de la densidad de la Piedra Pómez en función del tamaño máximo, tomaremos como punto de partida una densidad de 1320 kg/m^3

- Volumen de agregado grueso = $448 \text{ kg} / 1320 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de agregado grueso = 0.339 m^3
- Volumen de aire atrapado = Porcentaje de volumen de aire atrapado x 1 m^3
- Volumen de aire atrapado = $2 \% \times 1 \text{ m}^3$
- Volumen de aire atrapado = 0.02 m^3

3.2.6. Calculo del Volumen de Árido Fino

- Volumen de árido fino = $1\text{ m}^3 - (\text{Volumen de Cemento} + \text{Volumen de agua} + \text{Volumen de agregado grueso} + \text{Volumen de aire atrapado})$
- Volumen de árido fino = $1\text{ m}^3 - (0.104\text{ m}^3 + 0.2\text{ m}^3 + 0.339\text{ m}^3 + 0.02\text{ m}^3)$
- Volumen de árido fino = 0.337 m^3

El árido fino estará compuesto por Piedra Pómez triturada:

- Volumen de Piedra Pómez triturada = 0.337 m^3
- Peso del árido fino = Volumen del árido fino x Peso específico del árido fino
- Peso del árido fino = $\text{Peso del árido fino} = 0.337\text{ m}^3 \times 800\text{ kg/ m}^3$
- Peso del árido fino = 269.6 kg

3.3. Ensayo Base

Para la fabricación de las probetas, en la Tabla 8 se muestra una dosificación base.

Tabla 8. Dosificación base de para las probetas

Material	Volumen Neto (m³)	Peso (kg)
Cemento	0.104	328
Árido Grueso (Piedra Pómez, tamaño max 20 mm)	0.339	448
Árido Fino (Piedra Pómez tamaño max 0.075 mm-6mm)	0.303	269.6
Agua	0.2	200
Aire Atrapado	0.02	0
Hormigón Fresco	1	1245.6

Esta dosificación sirve de base para la realización de los ensayos de laboratorios los cuales permitirán el ajuste de la dosificación hasta obtener

la mezcla con las características esperadas para lo cual se tendrán en cuenta los criterios de corrección siguientes:

- Si la mezcla es demasiado seca, o si presenta oquedades internas (hormigueros), se debe incrementar las cantidades de agua, cemento y árido fino y disminuir proporcionalmente la cantidad de árido grueso.
- Si la mezcla presenta segregación debe disminuirse la cantidad de agua, cemento y árido fino e incrementarse la cantidad de árido grueso.

3.3.1. Elaboración de la mezcla para el llenado de las probetas para realizar los ensayos de Compresión

Debido a la porosidad que presenta la Piedra Pómez para su empleo en la mezcla es más conveniente sumergirlo en agua previamente durante 48 horas y posteriormente escurrirlo al aire durante 24 horas, para ser utilizado en la condición de saturado con superficie seca.

Deben mezclarse primeramente los agregados con 3/4 partes del agua. Posteriormente agregamos el cemento y se va mezclando de forma simultánea y agregando agua según la vaya necesitando. Debemos amasar la mezcla hasta que se obtenga visiblemente un color bastante uniforme de la misma.

3.3.2. Características que deben cumplir los moldes

Los moldes utilizados para fabricar las muestras que posteriormente serán ensayadas deben cumplir los siguientes requisitos: (Salinas, 2015)

- un material que no sea absorbente, puede ser de acero o hierro fundido,
- que no reaccione químicamente con la mezcla,
- en todo momento los moldes, deben mantener sus dimensiones iniciales inalterables, a pesar de las fuerzas presentes en el fraguado,

- deben poseer propiedades de ser impermeables durante el proceso,
- utilizar un sellante para prevenir la fuga de agua de los moldes, puede ser grasa o cera,
- recubrir los moldes con un material que garantice el desmontaje de las probetas.

Se utiliza la Norma ASTM C 470 como requisito para los moldes.

3.3.3. Características que deben cumplir las varillas

Las varillas de compactación utilizadas en la compactación de la mezcla deben tener las siguientes características: (NTE INEN 1576, 2011)

- deben ser restas de sección circular y de acero,
- la longitud tiene que ser mayor que la profundidad, al menos 100 mm,
- sus extremos deben ser redondeados para un buen manejo en la compactación

Se pueden utilizar las Normas NTE INEN 1.578, ASTM C 138, ASTM C 173 y ASTM C231.

3.3.4. Requerimientos de las probetas a ensayar

La cantidad de probetas a ensayar es como mínimo cuatro para los ensayos de resistencia, se deben elaborar con la misma mezcla y al mismo tiempo entre la confección de cada probeta. Seguirán las indicaciones que establece la Norma NTE INEN 1576 o ASTM C31. El criterio para obtener un resultado válido, es ensayar la mayor cantidad de probetas en ningún caso el ensayo de una solo ofrecerá un resultado fiable. (INEN, 2015)

3.4. Propiedades del Hormigón utilizado en los ensayos

Para la realización de los ensayos se elaboró un hormigón en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de Especialidades Espiritu

Santo en la confección del mismo se utilizaron como agregados: Cemento Portland, Piedra Pómez como agregado grueso y como agregado fino. El objetivo es lograr una resistencia en el hormigón de 210 kg/cm². Como ensayos previos se deben determinar las propiedades de los agregados utilizados mediante ensayos de laboratorio. A continuación veremos cómo se desarrollan esos ensayos.

3.4.1. Granulometría de la Piedra Pómez gruesa

La selección del tamaño máximo de los agregados gruesos tiene repercusión en las propiedades finales del hormigón, sobre todo en su resistencia y trabajabilidad. El tamaño máximo del mismo fue de 12.7 mm y fue adquirido en la Cantera de Bloqcm.

Primeramente se realizaron ensayos de análisis por tamizado de agregado grueso en los Laboratorios Pesantes de Guayaquil. En estos ensayos no se cumplieron con los límites de la norma ASTM, los resultados se muestran en la Tabla 9 y en la Figura 10.

Tabla 9. Análisis de tamizado de agregado grueso.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Ret. Acumulado (gr)	% Retenido	% que pasa
1 ½"	37,5	0	0	100
1"	25	0	0	100
¾"	19	18	2	98
½"	12,5	168	15	85
3/8"	9,5	355	31	69
No.4	4,8	757	66	34
No.8	2,4	1,044	92	8
Bandeja		1,139		
Tamaño máximo:			19 cm	

No. de tamaño ASTM C 33:

67

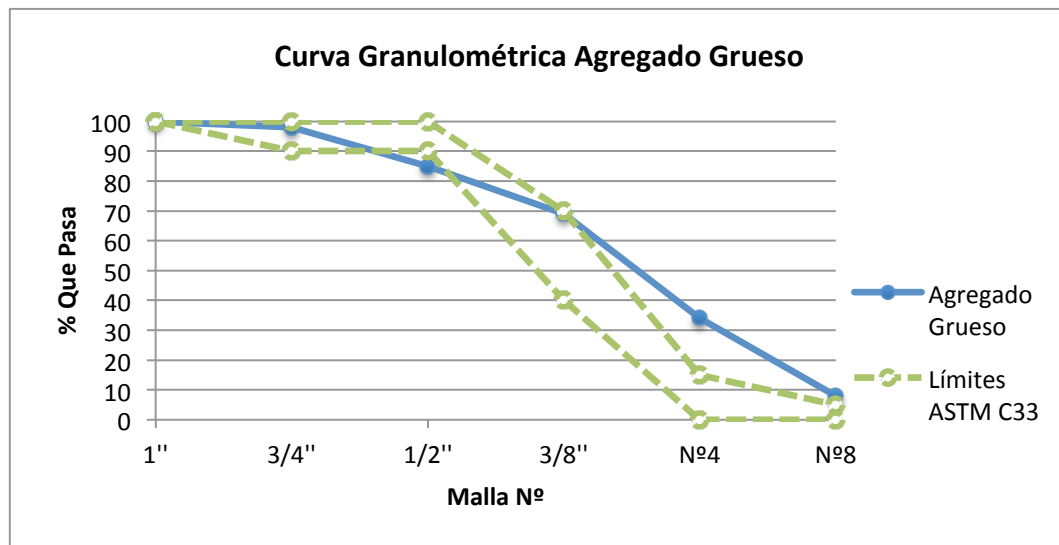


Figura 10. Gráfica de análisis de tamizado de agregado grueso.

En los ensayos realizados en el laboratorio de materiales de la UESS se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 10 y en la Figura 11.

Tabla 10. Características del agregado grueso.

Tamiz	Diámetro	Peso parcial	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa	Norma
1/2	12,70	100	10	10	90	90-100
3/8	9,5	455	46	56	45	40-70
Nº 4	4,76	370	37	93	8	0-15
Nº 8	2,36	45	5	97	3	0-5
Fondo	0	30	3	100	0	
Total		1000	100%			

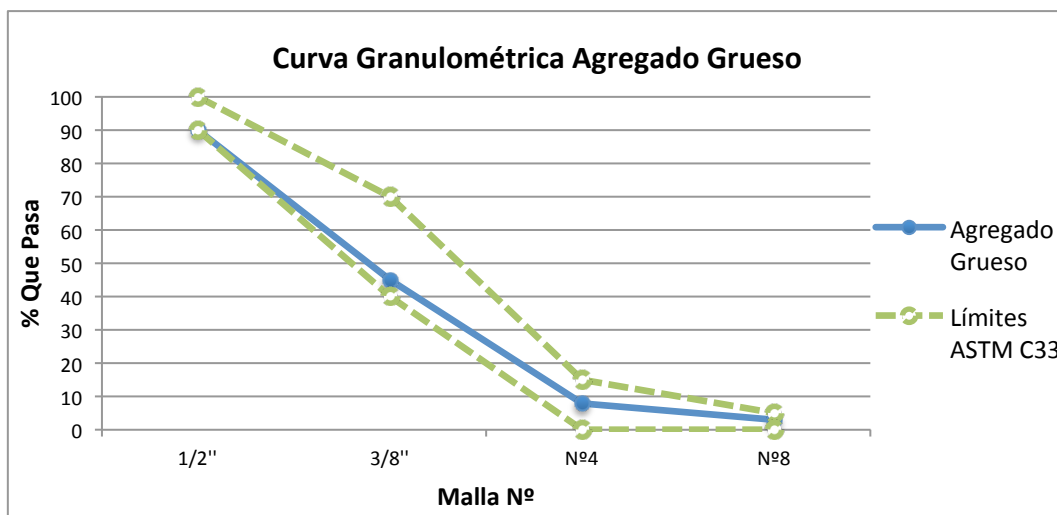


Figura 11. Grafica de la Curva granulométrica del agregado grueso.

Los resultados de los cálculos realizados se muestran a continuación.

Peso volumétrico Suelto Agregado Grueso

Masa = 4,976 Kg

Volumen = $8953,54 \text{ cm}^3 = 0,00895354 \text{ m}^3$

PVS = Masa/Volumen = $555,75 \text{ Kg/m}^3$

Peso volumétrico Varillado Agregado Grueso

Masa = 5.252 Kg

Volumen = $8953,54 \text{ cm}^3 = 0,00895354 \text{ m}^3$

PVV = $586,58 \text{ Kg/m}^3$

Absorción agregado grueso

Masa seca = 500 g

Masa saturada superficialmente seca = 646,50 g

Absorción = $(646,5-500)/500 = 29,3\%$

Densidad saturada superficialmente seca del agregado grueso:

DSSS = $(M_{sss})/(M_{sss} - M_{agua}) = (646,5)/(646,5 - 129,3) = 1,25 \text{ g/cm}^3 = 1250 \text{ kg/cm}^3$

3.4.4. Granulometría de la Piedra Pómez fina

El agregado fino, se obtuvo de la misma Piedra Pómez, la cual se le realizó un proceso de trituración hasta obtener el tamaño requerido.

Primeramente se realizaron ensayos de análisis por tamizado de agregado fino en los Laboratorios Pesantes de Guayaquil. En estos ensayos no se cumplieron con los límites de la norma ASTM, los resultados se muestran en la Tabla 11 y en la Figura 12.

Tabla 11. Análisis de tamizado de agregado fino.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Ret. Acumulado (gr)	% Retenido	% que pasa
3/8"	9,5	0	0	100
No.4	4,75	0	0	100
No.8	2,4	0,8	0	100
No.16	1,2	23,8	3	97
No.30	0,6	100,6	12	88
No.50	0,3	184,0	22	78
No.100	0,15	253,3	28	72
Bandeja		830,0	100	0
Módulo de finura:			0,7	
Tamaño de la muestra agregado con:			Peso mínimo (g)	
Al menos el 95% pasa 2,36 mm (tamiz No.8)			100	
Al menos el 85% pasa 4,75 mm (tamiz No.4) y más del 5% es retenido en 2,36 mm (tamiz No.8)			500	

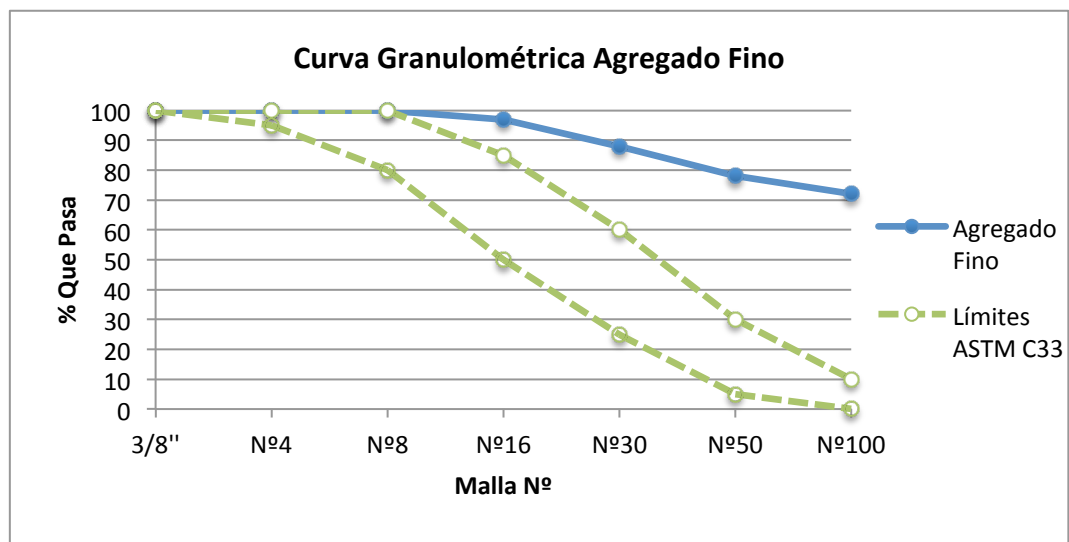


Figura 12. Gráfica del análisis de tamizado de agregado fino.

En los ensayos realizados en el laboratorio de materiales de la UESS se obtuvieron los siguientes resultados para el agregado fino, que se muestran en la Tabla 12 y en la Figura 13.

Tabla 12. Características del agregado fino.

Tamiz	Diámetro	Peso parcial	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa	Norma
3/8	9,50	0	0	0	100	100
N4	4,75	40	4	4	96	95-100
N8	2,36	90	9	13	87	80-100
n16	1,18	350	35	48	52	50-85
n30	0,6	230	23	71	29	25-60
n50	0,3	150	15	86	14	5 a 30
N100	0,15	90	9	95	5	0-10
Fondo		50	5	100	0	
		1000	100			
Módulo de Finura				3,1		

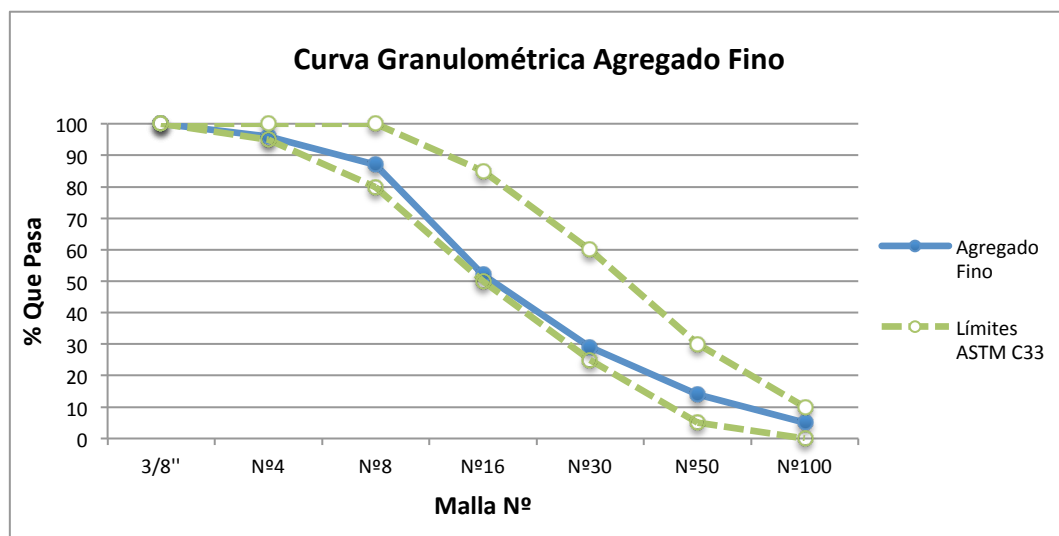


Figura 13. Gráfica de la Curva granulométrica del agregado fino.

Peso Volumétrico Suelto del Agregado Fino

Masa = 8,102 Kg

Volumen = 8953,54 cm³ = 0,00895354 m³

PVS = Masa/Volumen = 904 Kg/m³

Densidad saturada superficialmente seca del agregado fino:

$$p1 = \frac{m1}{m2} p2$$

Donde:

M1: masa de muestra contenido en el picnómetro;

P1: densidad de la muestra contenido en el picnómetro;

M2: masa de agua contenido en el picnómetro;

P2: densidad del agua contenido en el picnómetro

Por medio de un picnómetro se determinó que la densidad saturada superficialmente seca es 840 kg/cm³

Absorción del agregado fino = (M_{sss} - M_{muestra seca})/Masa muestra seca *100 = (520,8-400)/400 *100 =30,2%

3.5. Ensayos al Hormigón endurecido

Los materiales destinados para la fabricación del hormigón se constituyeron de piedra pómez como agregado grueso, piedra pómez triturada como agregado fino, cemento como material cementante y agua. Las propiedades del agregado liviano, ayuda a fabricar un producto liviano con densidades que varían entre 1500 a 2000 Kg/m³.

3.5.1. Ensayos de Resistencia a la compresión

Se realizaron análisis previos con roturas a los 7 días para conocer las mejores proporciones según su resistencia a la compresión.

Proporción: **cemento: arena: piedra pómez**

Valores constantes geométricos del cilindro:

- Diámetro = 10,2 cm
- Área = 81,71 cm²
- Volumen= 1658,77 cm³

Tabla 13. Ensayos previos con roturas a los 7 días.

Ensayo Previo No.1 (Proporción 1 : 1,6 : 4,8)					
Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1.1	7	2013	1,21	1470	18,00
1.2	7	2085	1,26	1940	23,74
Ensayo Previo No.2 (Proporción 1 : 2 : 5)					
2.1	7	2385	1,44	2780	34,02
2.2	7	2390	1,44	2830	34,63
Ensayo Previo No.3 (Proporción 1 : 1,4 : 3,5)					
3.1	7	2340	1,41	3510	42,96
3.2	7	2300	1,39	3050	37,33
Ensayo Previo No.4 (Proporción 1 : 1,2 : 4)					
4.1	7	2397	1,45	3810	46,63
4.2	7	2310	1,39	3750	45,89

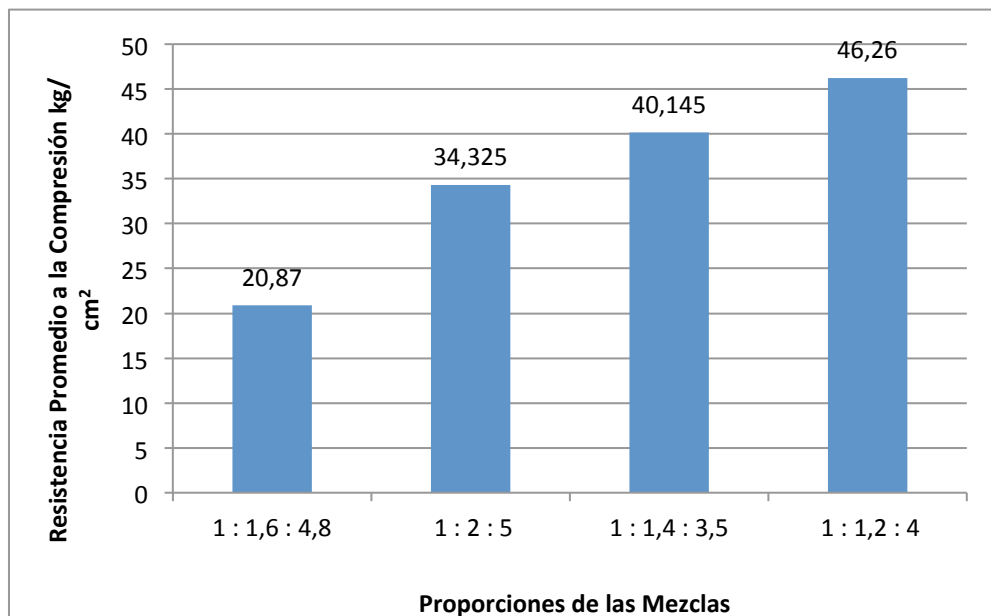


Figura 14. Resistencias Promedio de los ensayos previos.

Se realizaron Ensayos de Resistencia a la compresión en cilindros de concreto simple.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de la UESS.

A partir de estos ensayos previos y de la experiencia en dosificaciones hechas en ensayos en Terreros, 2001, se establecieron las dosificaciones para los ensayos realizados.

En la Figura 15 se muestra el ensayo a compresión de una probeta cilíndrica.



Figura 15. Ensayo de la probeta a compresión.

3.5.1.1. Resistencia del hormigón a procesos de carga lenta y carga rápida.

La resistencia del hormigón sometido a cargas lentas o a cargas que permanecen durante largo tiempo es menor que la resistencia del mismo hormigón sometido a cargas rápidas o a cargas de corto tiempo.

La prueba estándar definida por ASTM para medir la resistencia del hormigón nos dice que se debe llevar a cabo un proceso rápido de carga en los cilindros, normalmente este proceso toma un promedio menor a tres minutos para poder llegar a la rotura del cilindro.

Los elementos sometidos a cargas de compresión, cuando se encuentran durante su fase de servicio sufren incrementos de cargas lentas, además que éstas cargas se mantienen durante largos periodos de tiempo, por lo que la resistencia del hormigón a carga lenta es mucho más representativa que la resistencia estándar especificada por ASTM.

La resistencia de los cilindros sometidos a carga lenta es aproximadamente el 85% de la resistencia del mismo cilindro a carga estándar rápida ASTM, la carga lenta utilizada en los siguientes ensayos es de $240 \frac{kg.f}{s}$.

Con los ensayos previos que se realizaron se procedió a realizar nuevos ensayos a compresión y flexión incrementando el porcentaje de cemento en comparación a la de los áridos, las dosificaciones fueron las siguientes:

- a) Proporción: 1,1 : 1,8 : 4
- b) Proporción: 1,1 : 1,6 : 4
- c) Proporción: 1,1 : 1,2 : 4
- d) Proporción: 1,2 : 1,2 : 4
- e) Proporción: 1,2 : 1,6 : 4

f) Proporción: 1,2 : 1,8 : 4

g) Proporción: 1,2 : 1 : 4

A continuación los resultados obtenidos en los ensayos a compresión aplicando carga lentas y cargas rápida a los cilindros.

a) Proporción: 1,1 : 1,8 : 4

Revenimiento = 3

Relación agua/cemento: 0,72

Tabla 14. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,1 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
1.1	7	2356	1,42	2790 (Lenta)	34,14
				3230 (Rápida)	39,53
1.2	7	2370	1,43	2820 (Lenta)	34,51
				3130 (Rápida)	38,3

Tabla 15. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,1 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
1.3	14	2364	1,43	3820 (Lenta)	46,75
				5110 (Rápida)	62,54
1.4	14	2396	1,44	4010 (Lenta)	49,07
				5510 (Rápida)	67,43

Tabla 16. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,1 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
1.5	28	2391	1,44	5860 (Lenta)	71,71
				6360 (Rápida)	77,84
1.6	28	2415	1,46	5870 (Lenta)	71,84
				6370 (Rápida)	77,96

En la Figura 16 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

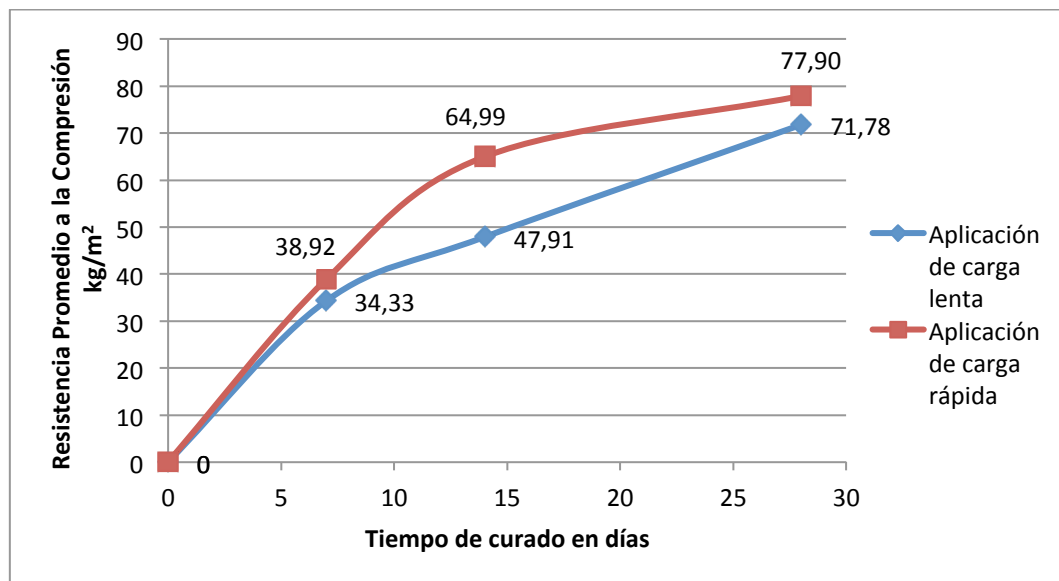


Figura 16. Resistencia Promedio a la compresión.

b) Proporción: 1,1 : 1,6 : 4

Revenimiento = 3 cm

Relación agua/cemento: 0,71

Tabla 17. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,1 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
2.1	7	2485	1,50	3120 (Lenta)	38,18
				3340 (Rápida)	40,88
2.2	7	2480	1,50	3180 (Lenta)	38,92
				3420 (Rápida)	41,86

Tabla 18. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,1 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
2.3	14	2480	1,50	4490 (Lenta)	54,95
				5000 (Rápida)	61,19
2.4	14	2520	1,52	4290 (Lenta)	52,50
				5080 (Rápida)	62,17

Tabla 19. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,1 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
2.5	28	2520	1,52	5650 (Lenta)	69,15
				7470 (Rápida)	91,42
2.6	28	2522	1,52	5630 (Lenta)	68,90
				7510 (Rápida)	91,91

En la Figura 17 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

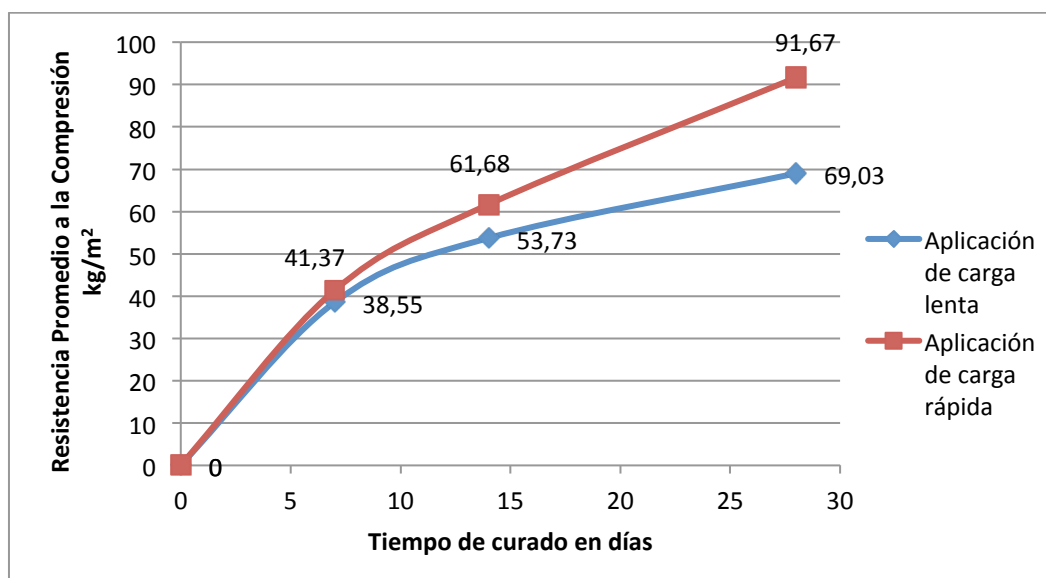


Figura 17. Resistencia Promedio a la compresión.

c) Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Revenimiento = 3 cm

Relación agua/cemento: 0,72

Tabla 20. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,1 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
3.1	7	2355	1,42	3310 (Lenta)	40,51
				3700 (Rápida)	45,28
3.2	7	2350	1,42	3690 (Lenta)	45,16
				3830 (Rápida)	46,87

Tabla 21. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,1 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
3.3	14	2356	1,42	5520 (Lenta)	67,55
				5900 (Rápida)	72,20
3.4	14	2365	1,43	5050 (Lenta)	61,80
				5260 (Rápida)	64,37

Tabla 22. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,1 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
3.5	28	2346	1.41	6440 (Lenta)	78.81
				7040 (Rápida)	86.16
3.6	28	2384	1.44	6520 (Lenta)	79.79
				7250 (Rápida)	88.72

En la Figura 18 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

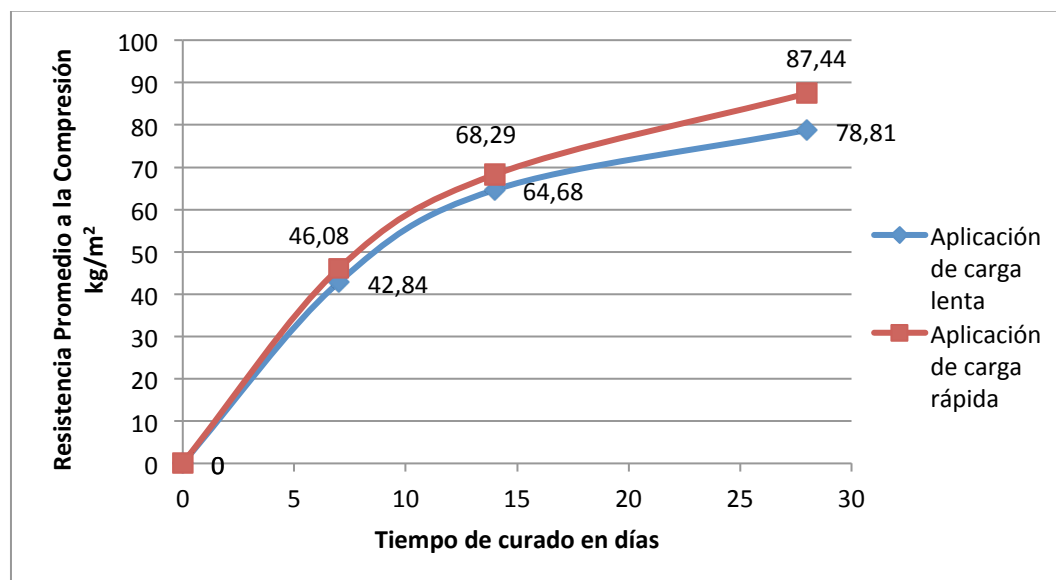


Figura 18. Resistencia Promedio a la compresión.

d) Proporción: 1,2 : 1,2 : 4

Revenimiento = 5 cm

Relación agua/cemento: 0,67

Tabla 23. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,2 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
4.1	7	2460	1,48	4790 (Lenta)	58,62
				5100 (Rápida)	62,42
4.2	7	2436	1,47	4600 (Lenta)	56,30
				4820 (Rápida)	59,00

Tabla 24. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,2 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
4.3	14	2513	1,51	6050 (Lenta)	74,04
				6400 (Rápida)	78,32
4.4	14	2480	1,49	6080 (Lenta)	74,41
				6590 (Rápida)	80,65

Tabla 25. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,2 : 1,2 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
4.5	28	2476	1.49	7840 (Lenta)	95.94
				8510 (Rápida)	104.15
4.6	28	2475	1.49	7940 (Lenta)	97.17
				8560 (Rápida)	104.76

En la Figura 19 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

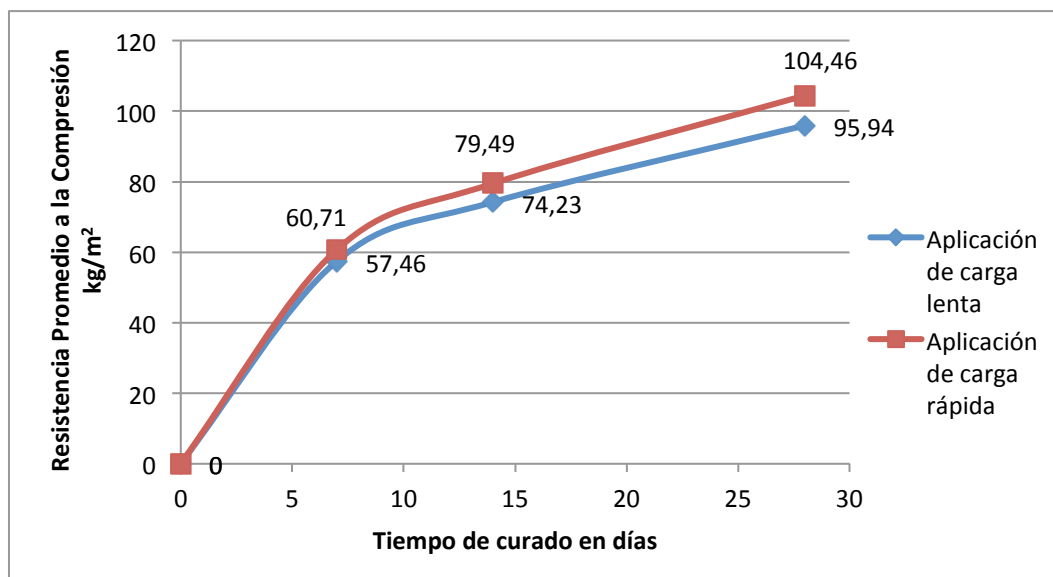


Figura 19. Resistencia Promedio a la compresión.

e) Proporción: 1,2 : 1,6 : 4

Revenimiento = 5 cm

Relación agua/cemento: 0,67

Tabla 26. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,2 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
5.1	7	2506	1.51	4980 (Lenta)	60.94
				5460 (Rápida)	66.82
5.2	7	2480	1.50	4820 (Lenta)	58.98
				5250 (Rápida)	64.25

Tabla 27. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,2 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
5.3	14	2411	1.45	6140 (Lenta)	75.14
				6290 (Rápida)	76.98
5.4	14	2421	1.46	6140 (Lenta)	75.14
				6900 (Rápida)	84.44

Tabla 28. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,2 : 1,6 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
5.5	28	2508	1.51	7730 (Lenta)	94.60
				8640 (Rápida)	105.74
5.6	28	2517	1.51	7710 (Lenta)	94.36
				8510 (Rápida)	104.15

En la Figura 20 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

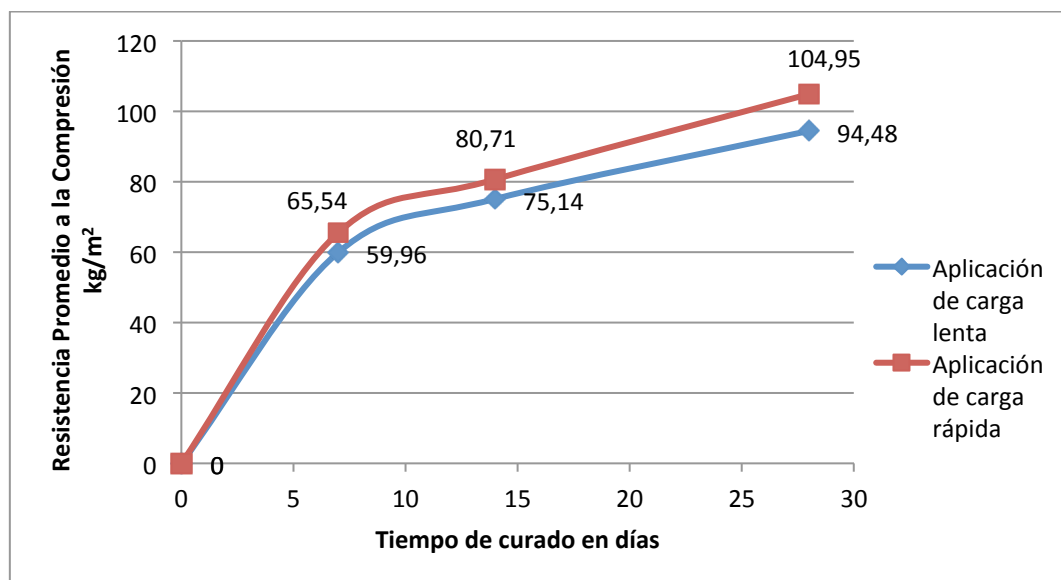


Figura 20. Resistencia Promedio a la compresión.

f) Proporción: 1,2 : 1,8 : 4

Revenimiento = 3 cm

Relación agua/cemento: 0,66

Tabla 29. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,2 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.1	7	2456	1,48	2690 (Lenta)	32,92
				3810 (Rápida)	46,63
6.2	7	2456	1,48	2510 (Lenta)	30,72
				3600 (Rápida)	44,05

Tabla 30. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,2 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.3	14	2454	1,48	4100 (Lenta)	50,17
				4630 (Rápida)	56,66
6.4	14	2450	1,48	4300 (Lenta)	52,63
				4980 (Rápida)	60,95

Tabla 31. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,2 : 1,8 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.5	28	2466	1.49	4730 (Lenta)	57,88
				5580 (Rápida)	68,29
6.6	28	2450	1.48	5100 (Lenta)	62,41
				5900 (Rápida)	72,20

En la Figura 21 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

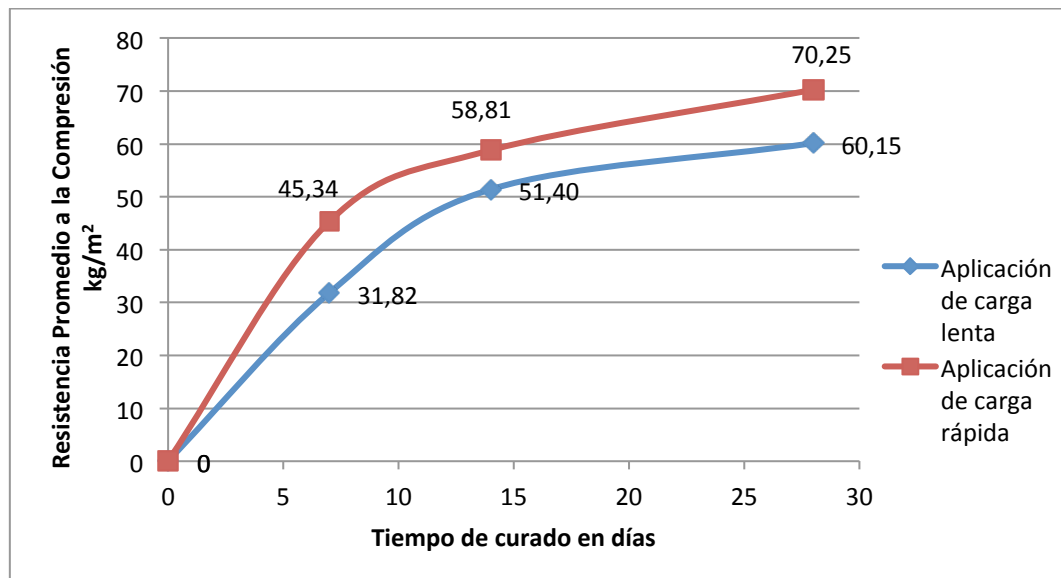


Figura 21. Resistencia Promedio a la compresión.

g) Proporción: 1,2 : 1 : 4

Revenimiento = 3 cm

Relación agua/cemento: 0,63

Tabla 32. Ensayos a los 7 días. (Proporción: 1,2 : 1 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.1	7	2484	1,50	4560 (Lenta)	55,81
				5280 (Rápida)	64,62
7.2	7	2446	1,47	4610 (Lenta)	56,42
				5210 (Rápida)	63,76

Tabla 33. Ensayos a los 14 días. (Proporción: 1,2 : 1 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.3	14	2462	1,48	5670 (Lenta)	69,39
				6250 (Rápida)	76,50
7.4	14	2500	1,51	5810 (Lenta)	71,10
				6120 (Rápida)	74,90

Tabla 34. Ensayos a los 28 días. (Proporción: 1,2 : 1 : 4)

Cilindro N°	Edad	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.5	28	2435	1,47	7440 (Lenta)	91,05
				7930 (Rápida)	97,05
7.6	28	2460	1,48	7360 (Lenta)	90,07
				7710 (Rápida)	94,35

En la Figura 22 se muestra como varia la Resistencia Promedio de Compresión de las probetas de hormigón.

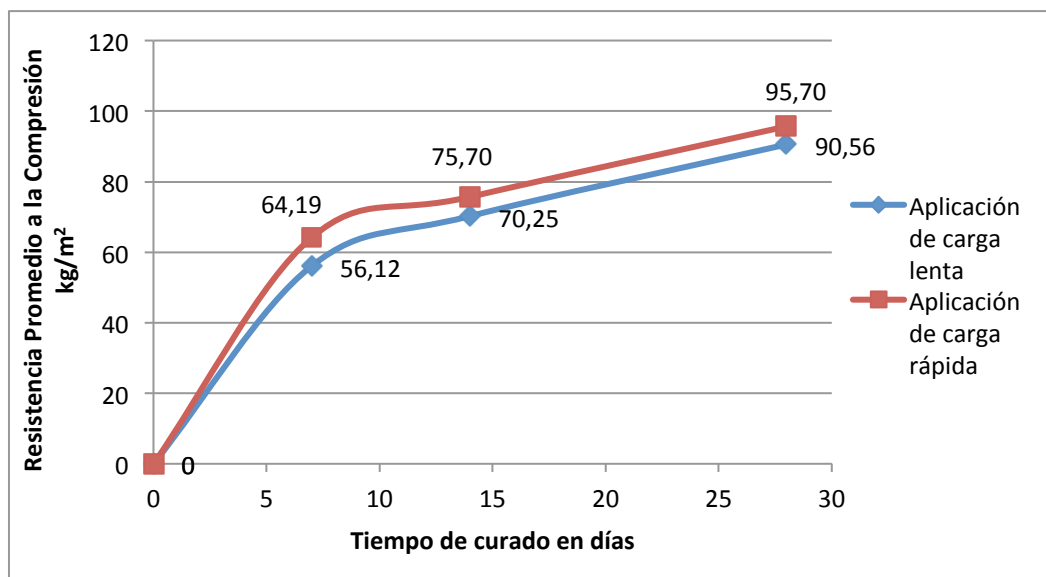


Figura 22. Resistencia Promedio a la compresión.

3.5.2. Ensayos de Resistencia a la flexión

Las dimensiones de las Probetas para el ensayo de Flexión se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Dimensiones de la viga.

Longitud (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
29	9	10	2610

Los ensayos a flexión se realizaron en la Máquina que se muestra en la Figura 23, también se muestra la disposición de las cargas en la viga en los puntos tercios.



Figura 23. Máquina de ensayos a flexión.

Los Ensayos de Resistencia a la flexión se realizaron en cilindros de concreto simple.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de la UESS. Los resultados se muestran en las Tablas a continuación.

La longitud entres apoyos fue de 19 cm.

Tabla 36. Ensayos para la Proporción: 1,1 : 1,8 : 4

Viga	Fechas		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
	Toma de muestra	Rotura						
1.1	22/7/2015	29/7/2015	7	3580	1.37	480	15,20	1,49
1.2	22/7/2015	5/8/2015	14	3600	1.38	590	18,68	1,83
1.3	22/7/2015	19/8/2015	28	3620	1.39	740	23,43	2,30

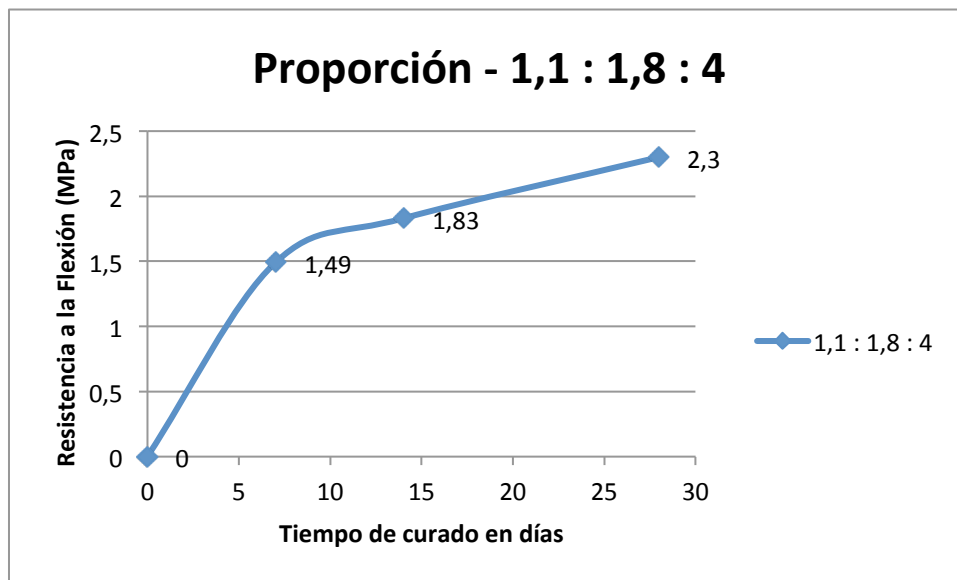


Figura 24. Resistencia a la flexión. Proporción 1,1 : 1,8 : 4

Tabla 37. Ensayos para la Proporción: 1,1 : 1,6 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
	Toma de muestra	Rotura						
2.1	23/7/2015	30/7/2015	7	3982	1,52	610	19,32	1,89
2.2	23/7/2015	6/8/2015	14	3980	1,52	850	26,92	2,64

2.3	23/7/2015	20/8/2015	28	3982	1,52	960	30,4	2,98
-----	-----------	-----------	----	------	------	-----	------	------

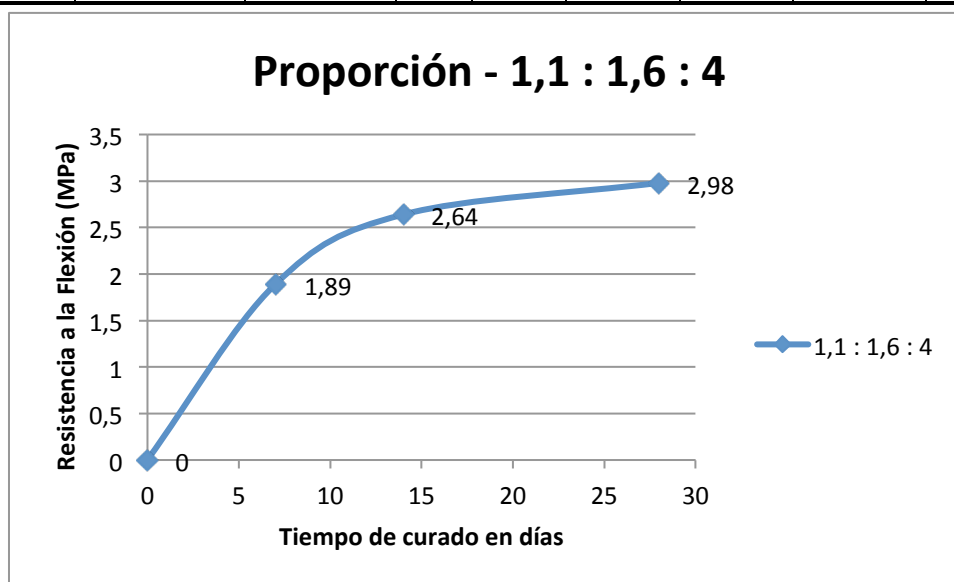


Figura 25. Resistencia a la flexión. Proporción 1,1 : 1,4 : 4

Tabla 38. Ensayos para la Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
	Toma de muestra	Rotura						
3.1	27/7/2015	3/8/2015	7	3700	1.42	660	20.90	2,05
3.2	27/7/2015	10/8/2015	14	3712	1.42	780	24.70	2,42
3.3	27/7/2015	17/8/2015	28	3713	1.42	1030	32.61	3,20

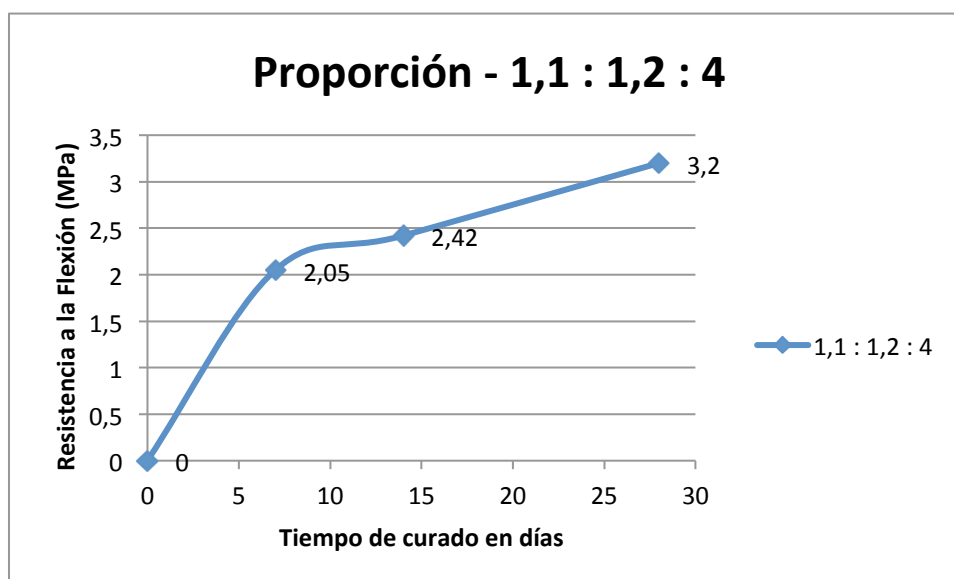


Figura 26. Resistencia a la flexión. Proporción 1,1 : 1,2 : 4

Tabla 39. Ensayos para la Proporción: 1,2 : 1,2 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPA)
	Toma de muestra	Rotura						
4.1	28/7/2015	4/8/2015	7	3704	1,42	670	21,21	2,08
4.2	28/7/2015	11/8/2015	14	3698	1,42	800	25,33	2,48
4.3	28/7/2015	18/8/2015	28	3710	1,42	1020	32,30	3,17

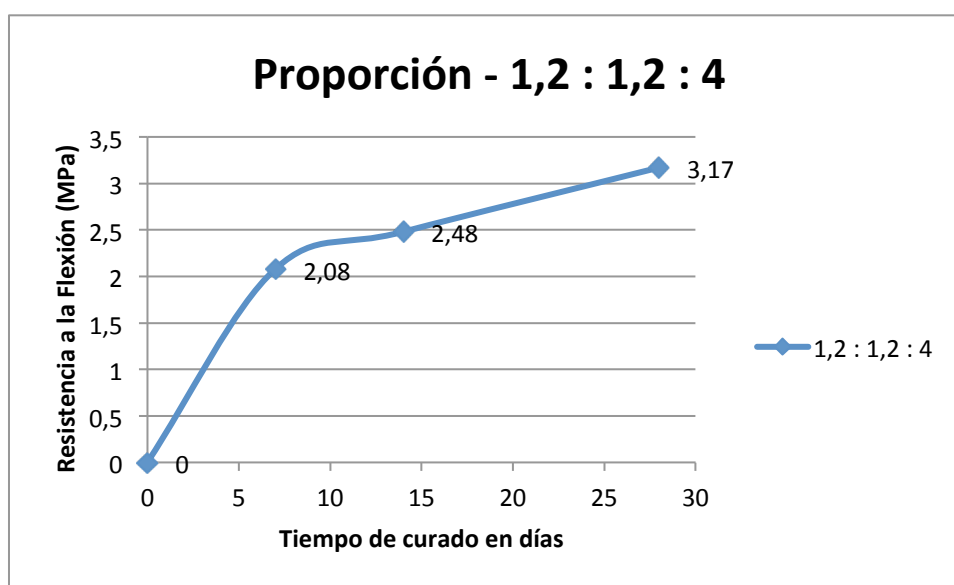


Figura 27. Resistencia a la flexión. Proporción 1,2 : 1,2 : 4

Tabla 40. Ensayos para la Proporción: 1,2 : 1,6 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPA)
	Toma de muestra	Rotura						
5.1	29/7/2015	5/8/2015	7	3990	1,53	560	17,73	1,74
5.2	29/7/2015	12/8/2015	14	3995	1,53	770	24,38	2,39
5.3	29/7/2015	19/8/2015	28	3993	1,53	1030	32,61	3,20

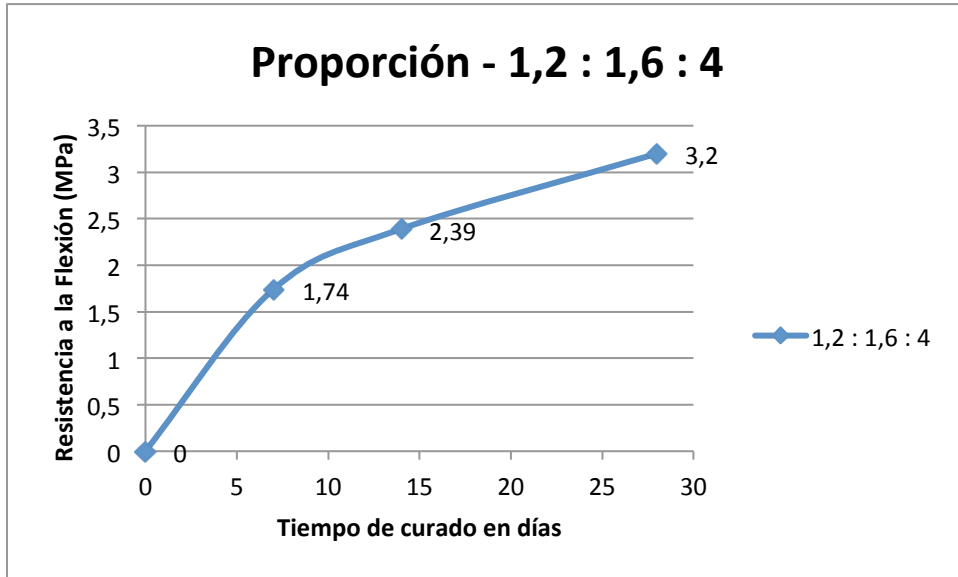


Figura 28. Resistencia a la flexión. Proporción 1,2 : 1,6 : 4

Tabla 41. Ensayos para la Proporción: 1,2 : 1,8 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
	Toma de muestra	Rotura						
6.1	30/7/2015	6/8/2015	7	3755	1.44	520	16,46	1,61
6.2	30/7/2015	12/8/2015	14	3750	1,44	710	22,48	2,20
6.3	30/7/2015	19/8/2015	28	3780	1,45	900	28,50	2,79

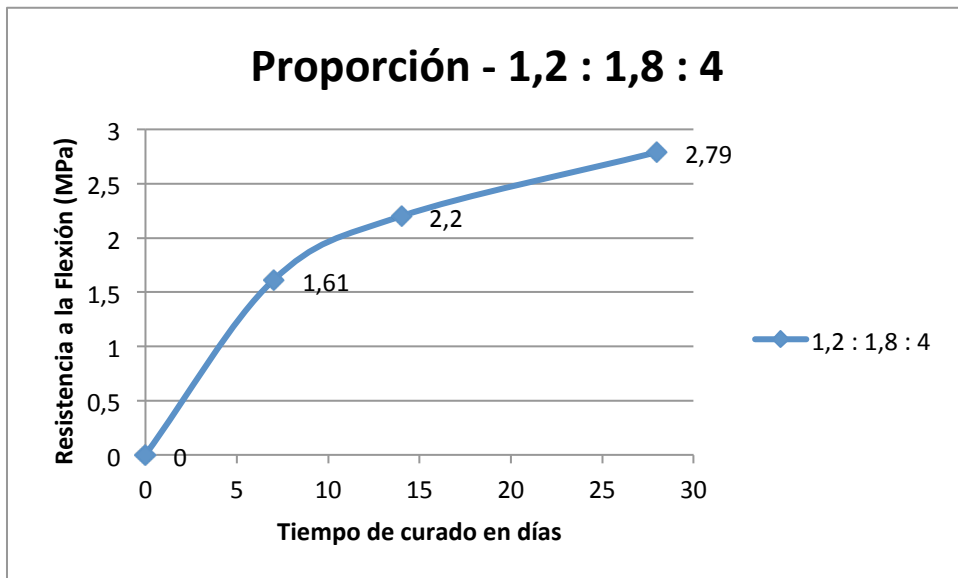


Figura 29. Resistencia a la flexión. Proporción 1,2 : 1,8 : 4

Tabla 42. Ensayos para la Proporción: 1,2 : 1 : 4

Vigueta	Fecha		Días	Masa (g)	Dens. (g/cm ³)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
	Toma de muestra	Rotura						
7.1	30/7/2015	6/8/2015	7	3958	1.52	440	13,93	1,37
7.2	30/7/2015	12/8/2015	14	3962	1.52	630	19,95	1,96
7.3	30/7/2015	19/8/2015	28	3961	1.52	840	26,60	2,61

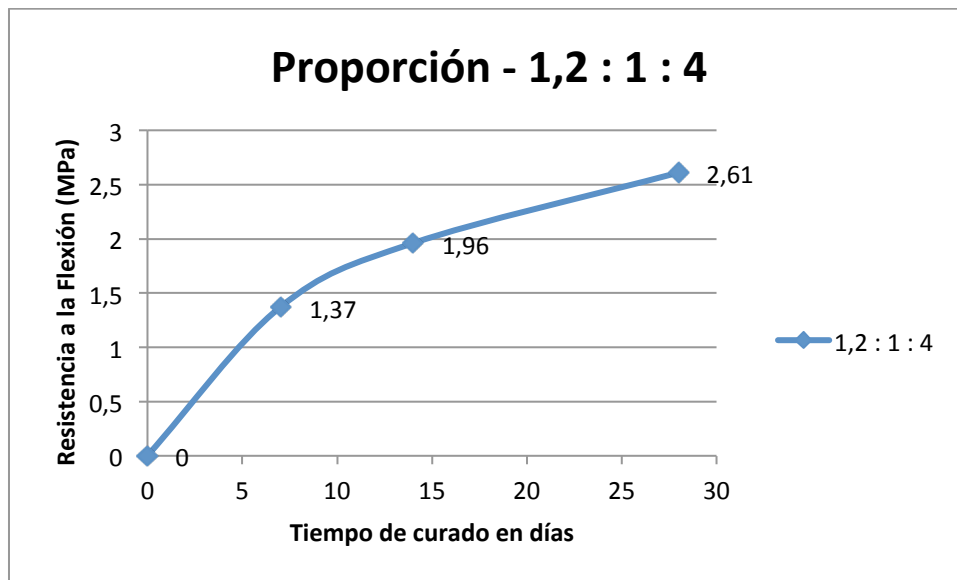


Figura 30. Resistencia a la flexión. Proporción 1,2 : 1 : 4

3.6. Análisis Comparativo de dos metodologías.

En nuestro país se realiza en algunas ciudades hormigón liviano con piedra pómez solo como agregado grueso, por lo que a continuación se hará una análisis de éste método con el método propuesto en el presente trabajo. Se escogió la dosificación 1,1:1,2:4 y se procedió a realizar un hormigón cuyos agregados son: como agregado fino arena de río y como agregado grueso piedra pómez de media pulgada.

Hormigón de piedra pómez de 1/2" como agregado grueso y arena de río como agregado fino.

Proporción 1,1 : 1,2 : 4

Revevimiento : 3cm

Proporción de agua con respecto al cemento: 1,90

Tabla 43.Ensayo a compresión para la Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Edad	Masa (g)	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	Carga (kg)	Resistencia ($\frac{kg}{cm^2}$)
7	3098.58	1.868	3920	50.92
14	3181.52	1.918	5700	72.31
28	3091.94	1.864	7220	89.87

Tabla 44.Ensayo a flexión para la Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Vigueta	Edad	Masa (g)	Dens. (g/cm^3)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm^2)	Módulo de rotura (MPA)
1	7	4448	1.86	350	10.80	1.06
2	14	4531	1.86	426	12.74	1.25
3	28	4441	1.86	556	16.92	1.66

Hormigón de piedra pómez de 1/2" como agregado grueso y piedra pómez triturada como agregado fino.

Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Revenimiento = 3 cm

Proporción de agua con respecto al cemento: 1,93

Tabla 44.Ensayo a compresión para la Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Edad	Masa (g)	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	Carga (kg)	Resistencia ($\frac{kg}{cm^2}$)
7	2352.5	1.42	3500	46.07
14	2360.5	1.425	5285	68.28
28	2365	1.425	6480	87.44

Tabla 45.Ensayo a flexión para la Proporción: 1,1 : 1,2 : 4

Vigueta	Edad	Masa (g)	Dens. (g/cm^3)	Carga (Kg)	Modulo de rotura (Kg/cm^2)	Módulo de rotura (MPA)
1	7	3700	1.42	660	20.90	2.05
2	14	3712	1.42	780	24.70	2.42
3	28	3713	1.42	1030	32.61	3.20

Gráficos de cuadros comparativos con ambos métodos.

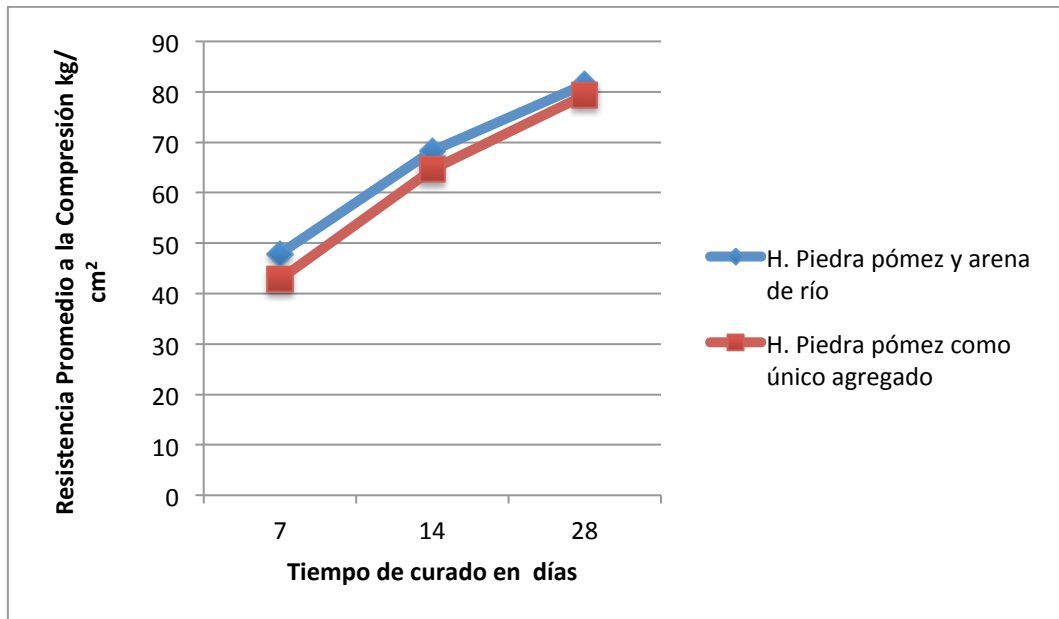


Figura 31. Resistencia a Compresión.

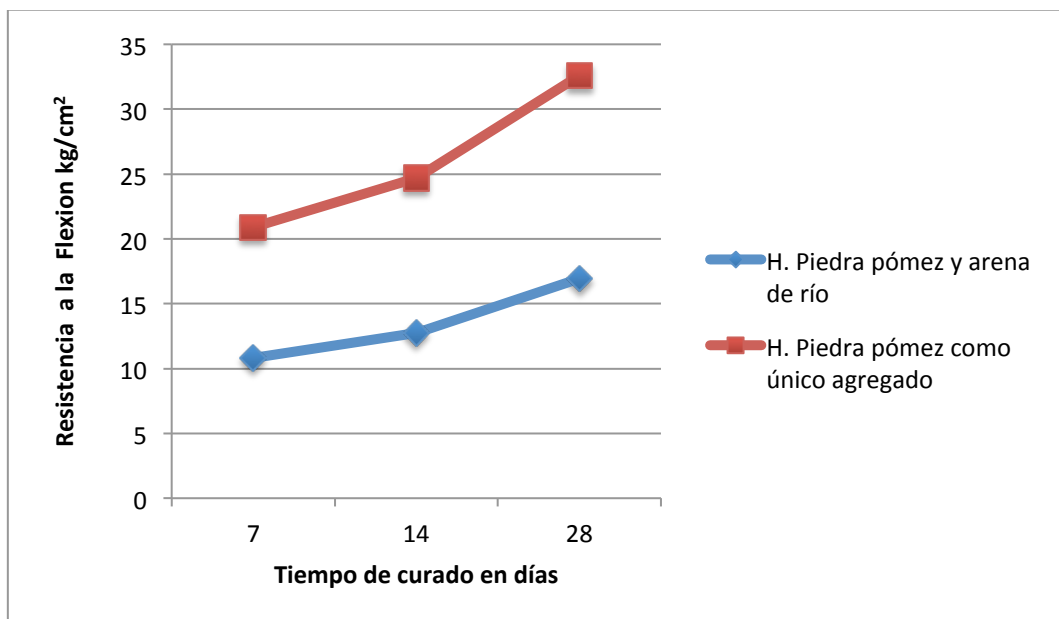


Figura 32. Resistencia a la flexión.

CAPITULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1. Discusión y Análisis de los materiales utilizados

Los materiales utilizados en los Ensayos de laboratorio fueron: Cemento Portland, Piedra Pómez como agregado fino, Piedra Pómez como agregado grueso y agua.

Para la utilización del Cemento Portland se tomó como referencia la Norma NTE INEN 152 : 2012, la cual establece los requisitos para el uso del mismo, no se detectó ninguna anomalía en los ensayos, ni ninguna reacción química adversa, todo el proceso se siguió de forma normal, y con las especificaciones técnicas dadas por el fabricante del producto.

La Piedra Pómez fue obtenida de la Cantera de Bloqcim, con los parámetros establecidos para este tipo de material ligero, el cual se utilizó para los agregados gruesos y finos. En la fabricación de hormigones ligeros, tomamos como referencia las especificaciones de la Norma ASTM C330, para los agregados gruesos y finos.

El tamaño máximo para el caso de los agregados gruesos fue de 12.7 mm.

Para la selección de los agregados se utilizó un proceso de tamizado tanto manual como mecánico hasta obtener los valores necesarios de los mismos. Para el agregado fino se utilizó una máquina trituradora, con la cual se obtuvo el tamaño requerido.

4.2. Análisis de los ensayos al hormigón en estado fresco

Para ver las propiedades del hormigón fresco se realizó este ensayo, el cual se utilizó el cono de Abrams, la Norma utilizada fue ASTM C143. Este ensayo nos ayudó a ver si el hormigón es trabajable o no, los resultados fueron satisfactorios.

Además se hicieron ensayos utilizando aditivos, los cuales modifican las propiedades físicas en alguna medida, demostrándose que el uso de los mismos es perjudicial para la consistencia del hormigón, demostrando resultados negativos.

4.2.1. Ensayo de resistencia a la compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión a los cilindros de hormigón simple se realizaron de forma satisfactoria, los resultados se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46. Resultados de los ensayos a compresión a los 28 días.

Proporción	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)
1,1 : 1,8 : 4	lenta	71,76
	rápida	77,9
1,1 : 1,6 : 4	lenta	69,03
	rápida	91,67
1,1 : 1,2 : 4	lenta	79,3
	rápida	87,44
1,2 : 1,2 : 4	lenta	96,56
	rápida	104,46
1,2 : 1,6 : 4	lenta	94,48
	rápida	104,95
1,2 : 1,8 : 4	lenta	60,15
	rápida	70,25
1,2 : 1 : 4	lenta	90,56
	rápida	95,7

La resistencia mayor a la compresión se obtuvo para una Proporción de la mezcla de 1,2 : 1,6 : 4, con una resistencia de 104,95 kg/cm².

Las características de la rotura del cilindro se muestra en la Figura 33 y 34. La misma muestra como la rotura del cilindro se produce en una línea a 45 grados, una característica similar en los materiales de este tipo.



Figura 33. Rotura a compresión



Figura 34. Cilindro después de la rotura

4.2.2. Ensayos a flexión en vigas

Los ensayos de resistencia a la flexión a los cilindros de hormigón simple se realizaron de forma satisfactoria, los resultados se muestran en la Tabla 47.

Tabla 47. Resultados de los ensayos a flexión a los 28 días.

Proporción	Módulo de rotura (Kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
1,1 : 1,8 : 4	23,43	2,30
1,1 : 1,6 : 4	30,4	2,98
1,1 : 1,2 : 4	32,61	3,20
1,2 : 1,2 : 4	32,30	3,17
1,2 : 1,6 : 4	32,61	3,20
1,2 : 1,6 : 4	28,50	2,79
1,2 : 1 : 4	26,60	2,61

La resistencia mayor a la flexión se obtuvo para las Proporciones de la mezcla de 1,1 : 1,2 : 4, 1,2 : 1,6 : 4, 1,2 : 1,2 : 4 para una resistencia de 32,61 kg/cm².

Las características de la rotura a flexión se muestran en la Figura 33, la rotura se presenta de forma repentina en el centro de la viga donde están los mayores esfuerzos de flexión, demostrándose que la rotura de estos materiales es de forma frágil y los valores de la resistencia a la flexión se comportan alrededor de un 30 % de los valores de la resistencia a compresión.



Figura 32. Cilindro después de la rotura

En la Tabla 45 se muestra la relación entre la Resistencia Promedio a la Compresión y la Resistencia Promedio a la Flexión.

Tabla 48. Porcentaje de relación entre la resistencia a compresión en comparación a la resistencia a flexión.

Proporciones	Días de curado	Resistencia compresión	Módulo de rotura (resistencia a la flexión)	$\% = \frac{\text{resistencia flexion}}{\text{resistencia compresion}} \times 100$
1,1 : 1,8 : 4	28	77,9	23.43	30,07
1,1 : 1,6 : 4	28	91,67	30.4	33,16
1,1 : 1,2 : 4	28	87,44	32.61	37,29

1,2 : 1,2 : 4	28	104,46	32.30	30,92
1,2 : 1,6 : 4	28	104,95	32.61	31,07
1,2 : 1,8 : 4	28	70.25	28.50	40,56
1,2 : 1 : 4	28	95.7	26.60	27,79

4.3. Análisis de costos

Se analizara el costo por m³ de los hormigones propuestos en el análisis de las dos metodologías.

Tabla 49. Dosificaciones de los materiales para un saco de cemento y para 1m³ de hormigón de piedra pómez de 1/2" como agregado grueso y piedra pómez triturada como agregado fino.

DOSIFICACIÓN PARA UN SACO DE CEMENTO		PESO EN KG. PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN	
CEMENTO:	50 kg	CEMENTO:	360 kg
AGUA:	32,50 kg	AGUA:	234 kg
ARENA:	60,91 kg	ARENA:	345 kg
PIEDRA:	71,87 kg	PIEDRA:	517,43 kg

Tabla 50. Dosificaciones de los materiales para un saco de cemento y para 1m³ de hormigón de piedra pómez de 1/2" como agregado grueso y arena de río como agregado fino.

DOSIFICACIÓN PARA UN SACO DE CEMENTO		PESO EN KG. PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN	
CEMENTO:	50 kg	CEMENTO:	328 kg

AGUA:	24,39 kg	AGUA:	160 kg
ARENA:	55,48,48 kg	ARENA:	364 kg
PIEDRA:	55,64,87 kg	PIEDRA:	365kg

Tabla 51. Unidad y costos de los materiales.

Costos		
Materiales	Unidad	Precio máximo
Cemento	saco	7,30
Agua	m3	1,70
Arena de piedra pómez	Saco (35kg)	3,00
Piedra pómez TG 1/2"	Saco (35kg)	3,50
Arena de Río	Saco (35 kg)	2,50

El hormigón de piedra pómez como agregado grueso tamaño 1/2" y piedra pómez triturada como agregado fino tuvo un costo por metro cúbico de 134,27 dólares; mientras el hormigón de piedra pómez como agregado grueso tamaño 1/2" y arena de río como agregado fino tuvo un costo por metro cúbico de 110,55 dólares.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- 1) En el análisis comparativos de las dos metodologías se aprecia que a compresión el hormigón de piedra pómez y arena de río tiene un 2,78% mas de resistencia que el hormigón de piedra pómez como único agregado, pero a flexión el hormigón de piedra pómez como único agregado tiene un 92,73% mas de resistencia que el hormigón de arena de río y piedra pómez.
- 2)El uso de plastificante en el hormigón no fue beneficioso ya que no permite que este cure correctamente.
- 3)La densidad del hormigón ligero con agregados de Piedra Pómez, estuvo en el orden de los 1450 kg/cm³ a diferencia del hormigón de arena con piedra pómez que tiene una densidad entre los 1800 kg/cm³ y los 2000 kg/cm³.
- 4)La relación entre la Resistencia a flexión y la Resistencia a Compresión se comportaron entre un 27, 79% y un 40,56 %.
- 5) Al usar piedra pómez triturada como agregado fino logramos reducir la densidad del hormigón en un 23,65%.
- 6) El hormigón de piedra pómez como agregado grueso tamaño 1/2" y piedra pómez triturada como agregado fino tuvo un costo por metro cúbico de 134.27 dólares; mientras el hormigón de piedra pómez como agregado grueso tamaño 1/2" y arena de río como agregado fino tuvo un costo por metro cúbico de 110,55 dólares.
- 7) Al usar piedra pómez triturada como agregado fino aumenta la cantidad de agua en un 31,62% en comparación al hormigón con arena de río.

5.2. RECOMENDACIONES

En la presente investigación se presentaron inconvenientes, los cuales se pueden tomar en cuenta para futuros trabajos relacionados con este tema. Se recomienda:

1. Los agregados deben estar dentro de los límites ASTM C 33 debido a que ayudará a mejorar su resistencia de acuerdo a los estudios realizados en el presente trabajo.
2. No usar aditivos plastificantes ya que la incorporación de este provoca una reacción alterando el porcentaje de agua y al ser un material con un alto porcentaje de absorción no permite un perfecto curado.
3. Realizar futuras investigaciones en vigas debido a su alto porcentaje de módulo de rotura que promedia entre 30% y 40 % en comparación de su resistencia a la compresión.
4. No se recomienda el reemplazo de arena proveniente de piedra pómez para usos estructurales pues su resistencia se vio afectada al cambiarla arena de río.
5. Se dejó cilindros testigos en la Universidad de Especialidades Espíritu Santo con el fin de observar su comportamiento a los 90 días que servirá para futuras investigaciones.
6. Se recomienda el uso de hormigones con agregados provenientes de la piedra pómez como alternativa a la construcción en ciudades como Cotopaxi, Tungurahua y ciudades cercanas por su elevado módulo de rotura y la capacidad de generar ahorro al usar agregados de una misma cantera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrasco, Ma F. (2006). Hormigones especiales. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.

CPE INEN-NEC-SE-HM 26-4. (2015). Código de Práctica Ecuatoriano.

Beycioglu, A, et al. Effect of mineral admixtures on properties of lightweight pumice concrete. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(7), pp. 1591-1603, 4 April, 2011.

Bibé, I. L., & Mantegna, I. D. (2005). Hormigón Liviano Estructural: Estudio de las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad.

Bernal, José A. (2009). Tipos de Cemento Portland. <http://elconcreto.blogspot.com/2009/01/clasificacion-de-los-cementos-portland.html>

FIHP (2008)

Hormigones Livianos. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormliv2.pdf>

Hou, Diana E. (2009). Hormigones livianos de alto desempeño. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1180/1/2354.pdf>

NTE INEN 1576: Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. https://archive.org/stream/ec.nte.1576.2011/ec.nte.1576.2011_djvu.txt

Iza, Darwin I. (2009). Hormigón liviano con agregado de origen volcánico y aditivo incorporador de aire. http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/REVISTA_CICYT/Articulo/160.pdf

Kilic, A, et al. The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete. Scientific Research and Essay Vol.4 (10), pp. 961-965, October, 2009.

Kumar, L, et al. Experimental study on light weight aggregate concrete with pumice stone, silica fume and fly ash as a partial replacement of

coarse aggregate. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 3, Issue 12, December 2014.

Larrea, P. (2011). Hormigón simple utilizando agregado volcánico de la Isla Galápagos "San Cristóbal". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.

Lura, P, Bentz, Dale P., and Lange, David A.. Pumice Aggregates for Internal Water Curing. Proceedings, International RILEM Symposium, Evanston, IL, March 22-24, 2004, 137-151 pp., 2004.

MARUSIN, S.L., "Ancient concrete structures", Concrete International, enero de 1996, pp. 56-58.

Materiales de Construcción II, 2008. Curso Universidad Politécnica de Cartagena.

http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf.

Neville, A.M. Properties of Concrete. Fifth Edition. Pearson Education Limited. 2011

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 10 (1996).

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 11 (2011)

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-CG

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-GM

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-MP

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-RE

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-HM

Norma EHE-08. Instrucción de hormigón estructural. 2008. Disponible en http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/

- Parhizkar, T., Najimi, M., and Pourkhorshidi, A.R. Application of pumice aggregate in structural lightweight concrete. *Asian Journal of Civil Engineering (BUILDING AND HOUSING)* VOL. 13, NO. 1 (2012) PAGES 43-54.
- Pezo, X. A. (1997). *Hormigones Ligeros*.
- Pasta, A. *La vermiculita. Propiedades y aplicaciones*", *Cemento Hormigón agosto/49 N°15 página236/9*
- Salinas, Edgar I. (2015). *Estudio de hormigones de alta resistencia y su incidencia en la durabilidad de la capa de rodadura de las vías en el cantón Ambato. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.*
- Sánchez, Juan F. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas. Madrid. Septiembre 2010.*
- Sivalinga, N, et al. *fibre reinforced light weight aggregate (natural pumice stone) concrete. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 4, Issue 5, May-2013.*
- Terreros, C. (2011). *Tecnología del hormigón. Guayaquil: ESPOL.*
- Valdéz, Luis F., & Alcivar, E. S. (2010). *Hormigones livianos. (Tesis de Grado). Escuela Superior Técnica del Litoral. Ecuador.*
- Ugur, I. *Improving The Strength Characteristics of The Pumice Aggregate Lightweight Concretes. 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET 2003, ISBN 975-395-605-3.*
- Weigler, H., Karl, S.. *Hormigones ligeros armados, Editorial Gustavo Gili S.A. 1974.*Iza, D. I. (2009). *Hormigón Liviano con Agregado de Origen Volcánico y Aditivo Incorporador de Aire.*

ANEXOS

ANEXOS No.1

Los ensayos para verificación de cumplimiento de especificaciones deben ser realizados por laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE. Las normas que contienen los procedimientos de ensayos a utilizar son:

- NTE INEN 153 (ASTM C 183): Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.
- NTE INEN 156 (ASTM C 188): Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.
- NTE INEN 157 (ASTM C 187): Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.
- NTE INEN 158 (ASTM C 191): Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.
- NTE INEN 488 (ASTM C 109): Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
- NTE INEN 957 (ASTM C 430): μm (No. 325) Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 μm (micrómetros) (No. 325).
- NTE INEN 202 (ASTM C 452). Cemento hidráulico. Determinación de la expansión potencial de morteros de cemento Portland expuestos a la acción de sulfatos.
- NTE INEN 2503 (ASTM C 1012): Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato.
- NTE INEN 2529 (ASTM C 1038): Cemento hidráulico. Expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua.

ANEXO NO.2

Propiedades Físico – Químicas del Cemento Portland

Tabla 2.1. Composición química del cemento Portland.

SiO ₂	27.9%
Al ₂ O ₃	5.8%
Fe ₂ O ₃	2.6%
CaO	52.7%
MgO	1.2%
SO ₃	2.8%
Perdida por calcinación	2.5%
Residuo Insoluble	13.1%

Tabla 2.2. Características físicas del cemento Portland

Resistencias	1 día	12.3 Mpa
	3 días	23.4 Mpa
	7 días	31.4 Mpa
	28 días	43.3 Mpa
Blaine	431 m ² /Kg	
Retenido en 45µm (Nº.325)	6.4%	
Fraguado Inicial	142 min	
Fraguado Final	260 min	
Contenido de aire en el mortero	1.7%	
Contracción en Autoclave	-0.017%	

ANEXO NO.3

Los áridos para hormigón, al igual que el cemento, deben investigarse y ensayarse en un laboratorio calificado o reconocido por el INEN. Las normas y ensayos básicos que se deben realizar para determinar las propiedades físicas del material son:

- **ASTM C40:** Impurezas orgánicas en agregado fino para hormigón
- **ASTM C70:** Humedad superficial en agregados finos
- **ASTM C117:** Material más fino que el tamiz de 75 mm (No. 200), mediante lavado.
- **ASTM C 123:** Partículas livianas en el agregado.
- **ASTM C127:** Densidad y capacidad de absorción de agregados gruesos
- **ASTM C128:** Densidad y capacidad de absorción de agregados finos
- **ASTM C136:** Análisis de tamizado de agregados finos y gruesos
- **ASTM C142:** Determinación de terrones de arcilla y partículas débiles en agregados.
- **ASTM C566:** Contenido de humedad total evaporable del agregado por secado
- **ASTM C702:** Práctica para reducir muestras de agregado a tamaños para ensayo.
- **ASTM D75:** Práctica para muestreo de agregados

Las propiedades mecánicas del árido se deben determinar mediante estos ensayos y normas:

- **ASTM C88:** Solidez de agregados utilizando sulfato de sodio o sulfato de magnesio. En el Ecuador, la presencia de sulfatos está más bien generalizada en todas sus regiones, en consecuencia, la realización de este ensayo debería ser obligada siempre.
- **ASTM C131:** Resistencia a la degradación de agregados gruesos de pequeñas dimensiones por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Para un hormigón de densidad normal, la abrasión

del árido grueso según este ensayo, no debe superar el 50 % . Si el material es una combinación de áridos de diferente origen, todos y cada uno de ellos debe cumplir con esta exigencia.

- NTE INEN 867: Determinación de la reactividad alcalina potencial de combinaciones árido – cemento (método de la barra de mortero). Un problema frecuente en nuestro país, es que la roca de donde proviene el árido es geológicamente joven y por esta razón, sus minerales son potencialmente reactivos con los álcalis del cemento o de fuentes extrañas, produciéndose expansiones y fisuras muy peligrosas; entonces, si el hormigón va a estar sujeto a humedecimiento, a exposición prolongada en ambiente húmedo o en contacto con suelos saturados, se debe verificar con este ensayo las expansiones que la reacción puede producir y verificar con la especificación C33 si son o no aceptables.