

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**PIEDRA PÓMEZ COMO AGREGADO GRUESO PARA MEJORAR
LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO
LIGERO ESTRUCTURAL**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. COLOMBO DURÁN, JUAN PABLO

Bach. MENDOZA PEREZ, GERALDINE

ASESOR: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres, mi familia y a Dios por estar siempre a mi lado y acompañarme en todo momento.

A mis padres: Helen Duran y Juan Colombo; por haberme forjado como la persona que soy, siendo partícipes de mi desarrollo personal y profesional, por sus consejos y motivación constante para no rendirme y lograr mis metas y anhelos.

Juan Pablo Colombo Durán

A Dios por bendecirme y guiarme día a día en este largo camino lleno de muchas experiencias y aprendizajes.

A mis padres Carlos y Rosa por todo su cariño, confianza y apoyo incondicional en cada paso que he dado para llegar a una de mis principales metas, gracias por toda la paciencia que siempre tuvieron conmigo, por inculcar en mí grandes valores como el esfuerzo y la perseverancia; a mi pequeña hermana Arlet por darle más alegría a mis días.

A mis abuelos Samuel y Luz, por ser el mayor ejemplo de trabajo y mucho sacrificio para poder lograr todo lo que uno se propone, por todo su cariño y apoyo en todos estos años de vida. A mis tíos Cesar y Carmen por el gran ejemplo profesional; gracias por todo el cariño, apoyo que me han dado en estos años de vida.

Geraldine Mendoza Pérez

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado conocimientos de esta maravillosa carrera.

A nuestra asesora: Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes, por su amistad, aporte, guía y colaboración para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

De igual modo a nuestro metodólogo el Dr. Ing. Carlos Magno Chavarry Vallejo, por su educación, orientación y haber sido una persona muy importante en el desarrollo de la Escuela de Ingeniería Civil.

Juan Pablo Colombo y Geraldine Mendoza

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Delimitación de la investigación	4
1.4.1 Geográfica	4
1.4.2 Temporal	5
1.4.3 Temática	5
1.4.4 Muestral.....	5
1.5 Justificación	5
1.5.1 Conveniencia.....	5
1.5.2 Relevancia social.....	5
1.5.3 Aplicación práctica.....	5
1.5.4 Utilidad metodológica	6
1.5.5 Valor teórico.....	6
1.6 Importancia del estudio.....	6
1.6.1 Nuevos conocimientos	6
1.6.2 Aporte.....	6
1.7 Limitaciones	6
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación	6
1.7.2 Metodológicos o prácticos	7
1.7.3 Medidas para la recolección de datos.....	7
1.7.4 Obstáculos en la investigación	7
1.8 Alcance	7
1.9 Viabilidad	7

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco histórico	8
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.2.1 Investigaciones internacionales	9
2.2.2 Investigaciones nacionales	12
2.2.3 Artículos relacionados con el tema	14
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	17
2.3.1 Concreto liviano estructural	17
2.3.2 Agregados ligero-estructurales	17
2.3.3 Propiedades físicas y mecánicas de los concretos livianos estructurales	22
2.3.4 Materiales componentes del concreto liviano	25
2.3.5 Propiedades de los agregados	29
2.3.6 Calidad de los agregados	29
2.3.7 Piedra pómez	29
2.3.8 Propiedades de la piedra pómez	30
2.3.9 Uso de piedra pómez	30
2.3.10 Diseño de mezcla	31
2.3.11 Secuencia de diseño de mezclas	32
2.4 Definición de términos básicos	41
2.4.1 Concreto	41
2.4.2 Piedra pómez	41
2.4.3 Diseño de mezcla	41
2.4.4 Resistencia a la compresión	41
2.4.5 Contenido de humedad	41
2.4.6 Densidad	41
2.4.7 Concreto ligero	41
2.4.8 Absorción	41
2.4.9 Relación agua/cemento	41
2.4.10 Conductividad térmica	41
2.4.11 Resistencia a la flexión	42
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	43
3.1 Hipótesis	43
3.1.1 Hipótesis general	43
3.1.2 Hipótesis específicas	43

3.2 Variables	43
3.2.1 Variables.....	43
3.2.2 Operacionalización de variables.....	45
Tabla 11: Operacionalización de las variables	45
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	46
4.1 Método de la investigación.....	46
4.2 Tipo de la investigación.....	46
4.3 Nivel de la investigación	47
4.4 Diseño de la investigación	48
4.5 Población y muestra.....	48
4.5.1 Población.....	48
4.5.2 Muestra.....	49
4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos	54
4.6.1 Instrumento de recolección de datos	54
4.7 Descripción de procesamientos de análisis.....	54
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN	55
5.1 Resultados y análisis de la investigación.....	55
5.2 Contrastación de hipótesis	73
DISCUSIÓN	79
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos de máxima densidad aparente seca suelta de agregados livianos para concreto estructural.	19
Tabla 2: Requisito de granulometría de agregados ligeros para concreto estructural. ...	21
Tabla 3: Resistencia promedio requerida a la compresión	32
Tabla 4: Rangos de asentamiento del concreto.....	33
Tabla 5: Requisitos aproximados del contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados	35
Tabla 6: Contenido de aire recomendado para concreto liviano	36
Tabla 7: Relaciones a/c por resistencia a la compresión del concreto.....	36
Tabla 8: Relaciones máximas permisibles de agua y cemento para concreto en exposiciones severas.	37
Tabla 9: Volumen del agregado grueso por volumen unitario del concreto.....	38
Tabla 10: Primera estimación del peso del concreto fresco liviano compuesto de agregado ligero y agregado fino de peso normal	39
Tabla 11: Operacionalización de las variables	45
Tabla 12: Dimensiones de la muestra de piedra pómez.....	49
Tabla 13: Diseño de f'c de las probetas cilíndricas para los tipos de hormigón hidráulica a ensayarse.....	50
Tabla 14: Valores de la distribución normal estandarizada.....	51
Tabla 15: Coeficiente de variación	52
Tabla 16: Distribución de muestra de probetas de concreto	53
Tabla 17: Clasificación del concreto según la masa unitaria.....	55
Tabla 18: Ensayo 1: Densidad de concreto.....	55
Tabla 19: Ensayo 2: Densidad de concreto.....	57
Tabla 20: Ensayo 3: Densidad de concreto.....	58
Tabla 21: Ensayo 1: Conductividad térmica del concreto	60
Tabla 22: Ensayo 2: Conductividad térmica del concreto	61
Tabla 23: Ensayo 3: Conductividad térmica del concreto	63
Tabla 24: Diseño de mezcla concreto ligero.....	64
Tabla 25: Ensayo 1: Resistencia a la flexión del concreto	65
Tabla 26: Ensayo 2: Resistencia a la flexión del concreto	66
Tabla 27: Ensayo 3: Resistencia a la flexión del concreto	67

Tabla 28: Ensayo 1: Resistencia a la compresión del concreto	69
Tabla 29: Ensayo 2: Resistencia a la compresión del concreto	71
Tabla 30: Ensayo 3: Resistencia a la compresión del concreto	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³)	56
Figura 2: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³)	56
Figura 3: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³).	57
Figura 4: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³)	57
Figura 5: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³)	58
Figura 6: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m ³)	59
Figura 7: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	60
Figura 8: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	61
Figura 9: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	62
Figura 10: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	62
Figura 11: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	63
Figura 12: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)	64
Figura 13: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm ²).....	65
Figura 14: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm ²).....	66
Figura 15: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm ²).....	66
<u>Figura 16: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²).....</u>	<u>67</u>
Figura 17: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm ²).....	68
Figura 18: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	69
Figura 19: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	69

Figura 20: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	71
Figura 21: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	72
Figura 22: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	73
Figura 23: Resultados de densidad para los diferentes autores	73
Figura 24: Resultados de conductividad térmica para los diferentes autores	74
Figura 25: Resultados de resistencia a la flexión para los diferentes autores	76
Figura 26: Resultados de resistencia a la compresión para los diferentes autores	77

RESUMEN

La presente tesis es “Piedra pómez como agregado grueso para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural”, esta investigación fue documental bibliográfico en donde los estudios utilizaron el método deductivo, enfoque cuantitativo y orientación aplicada, nivel descriptivo, correlacional y explicativo, el diseño fue experimental. Conforme se desarrolló la investigación se observó que al reemplazar la piedra pómez como agregado grueso mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural, obteniendo porcentajes óptimos de 17% 20% y 50% para una resistencia a la flexión de 18 kg/cm² , 33kg/ cm², 76 kg/cm² y una resistencia a la compresión de 185 kg/cm², 226 kg/cm² y 298 kg/cm² demostrado conforme va aumentando la dosificación el diseño mejora, al tener en sus propiedades características geológica, llega a disminuir la conductividad térmica a 0.32 w/mk, 0.39 w/mk y 0.4 w/mk, debido a su alta porosidad y baja densidad, teniendo como resultado 1400 kg/m³, 1824 kg/m³ y 2117 kg/m³. Se concluye que al tener un óptimo porcentaje y dosificación la piedra pómez es un buen reemplazo de agregado grueso en los diseños de mezclas de un concreto ligero estructural.

Palabras claves: Piedra pómez, concreto ligero, densidad del concreto, conductividad térmica, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión

ABSTRACT

In the present thesis carried out is entitled "Pumice stone as coarse aggregate to improve the physical-mechanical properties of structural lightweight concrete", this research was a bibliographic documentary where the studies used the deductive method, quantitative approach and applied orientation, descriptive level, correlational and explanatory, the design was experimental. As the research developed, it was observed that by replacing pumice stone as coarse aggregate, the physical-mechanical properties of structural lightweight concrete improve, obtaining optimal percentages of 17%, 20% and 50% for a flexural strength of 18 kg/cm², 33kg/cm², 76 kg/cm² and a compressive strength of 185 kg/cm², 226 kg /cm² and 298 kg /cm² demonstrated as the dosage increases, the design improves, by having geological characteristics in its properties, it decreases thermal conductivity at 0.32 w/mk, 0.39 w/mk and 0.4 w/mk, due to its high porosity and low density, resulting in 1400 kg/m³, 1824 kg/m³ and 2117 kg/m³. It is concluded that by having an optimal percentage and dosage, pumice stone is a good replacement for coarse aggregate in the mix designs of lightweight structural concrete.

Keywords: Pumice stone, lightweight concrete, density of concrete, thermal conductivity, flexural strength, and compressive strength

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en el Perú y el mundo se ha incrementado, generando que los ingenieros apliquen y desarrollen nuevos conocimientos tecnológicos para perfeccionar las técnicas de construcción; por tal motivo la rama de la ingeniería se apoya en el campo de los materiales de construcción, estos elementos se encargan de dar forma mediante la aplicación de una tecnología a todo tipo de construcciones, buscando mejorar las características del concreto

Los agregados gruesos son sustituidos para mejorar las propiedades físicas-mecánicas del concreto, estas son empleadas en las construcciones que se han realizado y han dado origen a una variedad de concretos especiales. Siendo los concretos ligeros estructurales parte de este tipo, con característica de baja densidad respecto al agregado convencional el cual se obtiene utilizando agregados naturales como la piedra pómez que cumplen las especificaciones de las normas técnicas para lo cual es importante determinar la óptima dosificación que mejora la conductividad térmica, la resistencia a la compresión y flexión.

La finalidad de la investigación es determinar la influencia de la piedra pómez como reemplazo del agregado grueso, a través de los diferentes ensayos realizados por los autores de tesis y artículos escogidos, los cuales miden las propiedades del agregado en estado fresco como también endurecido, los resultados permitirán la adecuada dosificación de la piedra pómez.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema en la cual determina la realidad problemática, contextualización y delimitación del problema, también se formula el problema general, objetivos específicos, delimitaciones, justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad de la investigación. En el Capítulo II, se presenta el marco teórico en donde narra los hechos pasados hasta la actualidad del tema planteado también se describe la información recopilada como tesis y artículos nacionales e internacionales que apoya al desarrollo del análisis. En el Capítulo III, se plantea el sistema de hipótesis generales, específicas y se formula las variables dependientes e independientes junto con su operacionalización. En el Capítulo IV, se precisa el método, tipo, nivel y diseño de la investigación también se determina la población y muestra, las técnicas de recolección y procesamiento del análisis de datos.

En el Capítulo V, se desarrolla el análisis e interpretación de los resultados con las investigaciones seleccionadas, también se contrasta las hipótesis planteadas. Por último, se desarrolla la discusión, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Carrillo y López, (2015). El continuo avance de la tecnología en la industria de la construcción, así como la constante demanda de estructuras cada vez más desafiantes como edificios de gran altura, estructuras con alta densidad de acero, puentes de grandes luces o túneles, dan lugar a que las exigencias en cuanto a la resistencia, durabilidad y trabajabilidad en el concreto liviano estructural sean cada vez mejor. El concreto es el material más usado en la industria de la construcción, no obstante, la alta densidad que presenta los concretos convencionales son un gran inconveniente al momento de realizar diseños arquitectónicos y en la colocación del concreto en obra. Dicha densidad alta de concreto hace que las dimensiones de los elementos estructurales tales como cimentaciones, columnas y vigas sean demasiado grandes. Para mejorar esta situación, es preciso que las estructuras se construyan con concretos ligeros de bajas densidades.

En el Perú la utilización del concreto ligero para el diseño de estructuras, la difusión aun es en menor medida, a pesar de que existe un gran potencial en cuanto al empleo de agregados de pesos ligeros (la piedra pómez, las arcillas expandidas a altas temperaturas) en la producción del concreto liviano estructural, como es el caso del sillar en Arequipa; no obstante, su uso en esa región y en el Perú en general es muy empírico y artesanal en concreto. Carbajal, (2015).

Esto en gran parte se debe al uso extensivo y masificación que tiene el concreto con agregado de peso normal en el Perú, para la construcción de edificaciones además de una resistencia al cambio por parte de los constructores para optar por otro tipo de material. Esto genera que las principales y más importantes fábricas de cemento en el Perú, únicamente opten por producir un único tipo de concreto; lo cual ocasiona que la disponibilidad de este tipo de concreto disminuya, agravando la situación.

La presente investigación tiene como objetivo determinar el porcentaje de piedra pómez como agregado grueso para optimizar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la dosis de piedra pómez como agregado grueso influye en las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la óptima dosificación de piedra pómez que reduce la densidad del concreto ligero estructural?
- b) ¿Cómo el óptimo porcentaje de piedra pómez reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural?
- c) ¿De qué manera la óptima dosificación de piedra pómez influye en la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural?
- d) ¿De qué manera la óptima dosificación de piedra pómez influye en la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la dosis de piedra pómez como agregado grueso para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural, según la norma E060.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para reducir la densidad del concreto ligero estructural.
- b) Determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez que reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural.
- c) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.
- d) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

El proyecto de esta investigación se desarrollará en el departamento de Lima, provincia de Lima.

1.4.2 Temporal

El proyecto de investigación se desarrollará durante los meses de mayo del 2021 al mes de noviembre del 2021.

1.4.3 Temática

Campo: Piedra pómez como agregado grueso en diseño de concreto.

Área académica:

Línea de investigación: Tecnología de Concreto.

Sub línea de investigación: Diseño de mezclas de concreto.

1.4.4 Muestral

Definiendo nuestra unidad de análisis, se realizará la delimitación y comparación de la información observada que ya fue analizada en diferentes proyectos de investigación con respecto al tema de estudio, así mismo se realizara la comparación con la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado.

1.5 Justificación

1.5.1 Conveniencia

El concreto liviano estructural tiene como principal finalidad disminuir la carga muerta de una estructura de concreto, ya que posee una densidad baja en comparación al concreto tradicional; lo que también conlleva a una resistencia menor por lo general, permitiendo al diseñador poder reducir o simplificar las medidas de los elementos estructurales (zapatas, columnas, etc.).

1.5.2 Relevancia social

Esta investigación radica en poder observar la influencia de la piedra pómez como agregado liviano considerando que ocupa la mayoría del volumen del concreto; esta piedra se encuentra en lugares volcánicos como Arequipa o en las salinas de Huacho, por lo que posee un alto costo y su preferencia al momento de la selección de materiales beneficiara a dichas localidades.

1.5.3 Aplicación práctica

Debido a todos estos puntos, esta investigación da a conocer las propiedades de la piedra pómez y sus beneficios como agregado grueso en un concreto estructural liviano, generando conocimientos técnicos y de análisis al momento de seleccionar los materiales. Ya que no se cuenta con especificaciones actualmente en la NTP, por lo que nos guiamos ASTM

C330-05 (Elaboración del concreto estructural), ASTM 567-05 (Baja densidad), ACI 211.2-98 (Dosificación) y ACI 219R-03 (Resistencia a la compresión).

1.5.4 Utilidad metodológica

Se estudia diferentes tipos de investigaciones como tesis o artículos nacionales e internacionales de los últimos 5 años para realizar una recopilación y análisis de resultados respecto al tema a tratar.

1.5.5 Valor teórico

El estudio determina que la óptima dosificación y porcentaje de piedra pómez como reemplazo del agregado grueso mejora las propiedades físico-mecánicas de un concreto ligero estructural.

1.6 Importancia del estudio

1.6.1 Nuevos conocimientos

El concreto estructural de peso liviano posee una densidad in situ (peso unitario) en el orden de 90 a 115 lb/pie³ (1440 a 1840 kg/m³) en comparación con el concreto de peso normal que presenta una densidad en el rango de 140 a 150 lb/pie³ (2240 a 2400 kg/m³). Para aplicaciones estructurales, la resistencia del concreto deberá ser superior a 2500 psi (170 kg/cm²). La mezcla del concreto se elabora con un agregado grueso de peso liviano.

1.6.2 Aporte

Con la investigación desarrollada conducirá a la obtención de cuadros comparativos para poder analizar el grado de optimización en el concreto liviano estructural por parte de la piedra pómez usada como agregado grueso de peso liviano, considerando como propiedad principal la densidad baja.

1.7 Limitaciones

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

La investigación está limitada por el porcentaje de piedra pómez como agregado grueso para optimizar la resistencia a la compresión del concreto liviano estructural, debido a la coyuntura mundial no se podrá emplear ensayos en el laboratorio. Por lo tanto, la investigación será descriptiva y utilizaremos los materiales informativos tanto nacionales como

internacionales, libros, bibliografías, tesis, revistas, artículos que guardan relación con nuestra investigación.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

Puesto que en la actualidad no se cuenta con especificaciones ni parámetros existentes en la Norma Técnica Peruana (NTP), por lo que para adquirir información se recurrió al ACI Y ASTM.

1.7.3 Medidas para la recolección de datos

Para la obtención de datos del concreto liviano estructural, en los estudios previos consideran múltiples climas y diferentes ubicaciones geográficas al momento de recolectar la piedra pómez como agregado y de evaluar sus diferentes propiedades en el concreto.

1.7.4 Obstáculos en la investigación

Debido al contexto mundial, la pandemia que nos acoge por el covid-19 y las múltiples restricciones como: toque de queda, aforos limitados y estrictos protocolos sanitarios hacen muy dificultoso un laboratorio óptimo que se encuentre operando y el transporte de material de lugar más cercano que en este caso es Huacho donde se extrae.

1.8 Alcance

El fin de este estudio de investigación es que permita definir las propiedades mecánicas de la resistencia a la compresión de la piedra pómez, como agregado grueso en el concreto liviano que cumplan las especificaciones técnicas del ACI Y ASTM, dado que no hay en la NTP. Promover la utilización de este material en zonas de baja capacidad portante relativa en Lima y otros lugares del país, dado que, con peso menor, el volumen requerido también será menor y se tendrá un mejor comportamiento.

1.9 Viabilidad

El trabajo de investigación está en el plazo de 06 meses, el costo de obtención de datos y de los ensayos será financiado por los propios tesisistas; la información se recopila de estudios previos y de tesis similares además de los resultados de muestras que realicemos en un laboratorio apropiado con los permisos e instrumentos necesarios.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

La piedra pómez es un tipo de roca volcánica, se le denomina también pumita o pumicita. Es una lava vítrea celular producto de erupciones volcánicas y se conoce también como ceniza volcánica. Debido a su carácter vesicular, la piedra pómez tiene una densidad baja y porosidad alta, es de color crema casi blanco lo cual indica que es una roca volcánica con alto contenido de sílice y bajo en fierro y magnesio, tiene una textura bastante uniforme de pequeñas celdas interconectadas; estas características son la base para su valor comercial como agregados ligeros, aisladores, absorbentes y abrasivos. La porosidad que presenta este material limita su resistencia en comparación con agregados convencionales, además para la elaboración de hormigón hay que tener en cuenta su alta abrasión. Diaz et al, (2011).

En el desarrollo de nuevas tecnologías para los concretos se desarrollan diferentes investigaciones alrededor del uso de piedra pómez, una de estas llevada a cabo por Tantaquilla, (2017). Realizo la investigación enfocándose en la obtención de concretos livianos estructurales compuestos por un agregado liviano natural como la piedra pómez, realizo una mezcla patrón de concreto convencional con agregados naturales de las canteras existentes en Huanchaco -Trujillo y otro concreto liviano con el uso de piedra pómez encontradas en la costa norte del mar peruano, usando diferentes tamaños. Se realizaron los ensayos de caracterización bajo las Normas ASTM, los cuales fueron requeridos para efectuar los diseños de mezcla de concreto bajo la norma ACI 211. En el concreto convencional se obtuvo una resistencia de 210 kg/cm², obteniendo resistencias a la compresión promedio de 296 kg/cm² a los 28 días de curado y 323 kg/cm² a los 56 días de curado, por otro lado en el concreto donde se hace el reemplazo óptimo del agregado grueso por piedra pómez se obtuvo valores de resistencia a compresión de 276 kg/cm² a 233 kg/cm² a 28 días de curado y 303 kg/cm² a 259 kg/cm² a 56 días de curado. También se han desarrollado variadas investigaciones en este campo puesto que se desea aprovechar la cantidad de volumen ocupado por la piedra pómez entre otros agregados inorgánicos.

Así Paitán, (2019). Desarrolla un proyecto de investigación siendo el objetivo, el estudio de la influencia de la piedra pómez utilizado como agregado en las propiedades mecánicas del concreto liviano estructural, tales como en la densidad

del concreto fresco y en la resistencia a la compresión, buscando reducir la carga muerta de la estructura de concreto. Donde cada diseño cumplió estar bajo las normas ACI 213R-03 y ASTM C330-05, realizo 48 probetas de concreto de los cuales 24 eran concreto liviano estructural y el resto concreto de peso normal, las cuales repartió equitativamente para 7,14,21 y 28 días de curado. Donde respecto a la resistencia a la compresión los promedios del concreto liviano estructural de 7, 14, 21 y 28 días de curado son 139, 163, 170 y 184 kg/cm² respectivamente, es así como a los 28 días de curado el concreto liviano estructural adquiere una resistencia mayor a 175 kg/cm² (ACI 213R-03) y una resistencia cercana al concreto de peso normal de 190 kg/cm².

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

Husain, (2019). En este artículo, se investigó el reemplazo parcial del polvo de piedra pómez volcánica (VPP) para su uso como material cementante suplementario. El concreto de alta resistencia (HSC) se preparó usando dos juegos de VPP (10% y 20%) incorporados con tres juegos de fibra de polipropileno (PF) (0.20%, 0.35% y 0.50%) para producir diferentes mezclas de concreto. Se llevaron a cabo varias pruebas, que incluyeron el asentamiento, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta, la resistencia a la flexión, la absorción de agua, la absorción superficial inicial y la resistencia, para evaluar el rendimiento del HSC. Los resultados mostraron que las muestras preparadas con un 10% de reemplazo de cemento con VPP y un contenido de 0.20% de PF indicaron un ligero aumento en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto de control en edades posteriores. Las resistencias indirectas a la tracción y a la flexión se optimizaron con un reemplazo de VPP del 10% con un contenido de PF del 0,50%. Es más, la adición de PF a las mezclas aumentó la resistencia a la tracción indirecta y la flexión, pero disminuyó el asentamiento. La prueba de resistencia indicó un bajo nivel de remojo en agua debido al contenido de VPP en las mezclas en comparación con la mezcla de control (HSC); disminuyó a medida que aumentaba el reemplazo de VPP. Las diferentes pruebas estándar sobre mezclas arrojaron resultados favorables y buenas perspectivas para la inclusión de VPP en estructuras de HSC.

Cañarte, (2016). Realizó el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la piedra pómez en un ambiente controlado, así como estudio de aumento de resistencia a la compresión del hormigón liviano con piedra pómez. El objetivo principal el estudio de aumento de resistencia a la compresión, durabilidad de hormigón liviano con piedra pómez de dimensiones 4,76 mm y 9,51 mm como solución estructural y económica de la construcción, realizándose mediante la metodología cuantitativa cualitativa, el tipo fue exploratoria descriptiva, la selección de la población y muestra se realizó mediante la característica de no probabilística intencional; en la propuesta se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de tipo estructural del hormigón liviano con piedra pómez. Los resultados que emitió el trabajo de investigación serán la base para futuras investigaciones.

Loaiza, (2015). Desarrolla la investigación sobre la utilización de la piedra pómez como agregado fino y grueso para la confección de hormigones, el objetivo fundamental es la reducción de su peso, diseñando una dosificación óptima, logrando la constitución de los llamados hormigones livianos o ligeros. El trabajo se da inicio con el análisis del problema el cual es que los hormigones convencionales tienen un elevado peso debido a los agregados que utiliza para su construcción. Se da la explicación de todo el marco teórico, ahí podemos ver la clasificación de los hormigones, las características de los hormigones 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. Se realiza los ensayos necesarios a las probetas de hormigón elaboradas, dando lugar al análisis de los resultados, logrando reducir la densidad del hormigón.

Hernández, et al (2015). Los agregados livianos con un alto índice de porosidad para reducir la densidad de los concretos, como las arcillas expandidas, escorias de alto horno, piedra pómez, poliestireno e inclusiones de aire, obteniendo así concretos que poseen una densidad inferior a concreto convencional, pero igual se han visto disminuidas las propiedades mecánicas y de alta resistencia. A lo que se propuso que el agregado de piedra pómez sea triturada para su implementación como reemplazo de la

arena típica dentro del concreto estructural y así disminuir significativamente la densidad sin comprometer las propiedades mecánicas.

Amézquita y Romero, (2015). En la investigación analizó como se afecta la resistencia a la compresión del concreto estructural ligero adicionando diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino (arena aluvial) por agregado fino tipo piedra pómez, así se evaluó la resistencia a la compresión del concreto estructural aligerado con agregado fino tipo piedra pómez en reemplazo de la arena aluvial. Se identificó las propiedades de la arena pómez triturada, encontrando que aun en un tamaño granular presenta un alto índice de porosidad, baja densidad y alto índice de absorción, se demostró que la arena pómez tiene menor comportamiento mecánico dentro de la mezcla de concreto. El concreto elaborado no se encontró dentro de los límites establecidos, pero si presenta una disminución de entre el 13 y 15% del peso de un concreto normalmente fabricado. La mezcla de arena piedra pómez y arena fluvial no es viable para su producción y su uso en obra, puesto que su baja resistencia lo hace inviable.

Ayala y Urrego, (2020). Exponen en su trabajo de investigación, el análisis a los resultados obtenidos en el diseño de mezcla de concreto liviano estructural de 210 kg/cm^2 fabricado a partir de la roca pómez extraída del municipio de Flandes – Tolima. El material volcánico proveniente del Cerro el Machín debe ser adaptado para que se pueda utilizar en la fabricación de concreto liviano estructural que alcance una resistencia igual o superior a los 210 kg/cm^2 , esto debido a que en estado natural se encuentra con impurezas como material orgánico y arenoso a causa de los procesos de depositación, siendo sometido a procesos de lavado, trituración, molienda, tamizado y clasificado para cumplir los parámetros. Según los resultados obtenidos en los distintos ensayos de caracterización el agregado liviano roca pómez extraído del municipio de Flandes – Tolima puede ser utilizado en la fabricación de concreto liviano estructural para fundir vigas, columnas y placas, basándonos en los resultados de resistencia a la compresión de la mezcla inalterada. La resistencia a la compresión promedio alcanzada a los 28 días es de 250 kg/cm^2 , y su masa unitaria seca es de 1458 kg/m^3 , el

concreto liviano clasifica como estructural, localizándose en un rango inferior al de la densidad solicitada por la normatividad en cuanto a este tipo de material.

2.2.2 Investigaciones nacionales

Matamoros, (2019). Centró el estudio en la influencia de la piedra pómez utilizado como agregado en las propiedades mecánicas del concreto liviano estructural, tales como en la densidad del concreto fresco y en la resistencia a la compresión, aplicado para reducir la carga muerta de una estructura de concreto, permitiendo que se reduzca o simplifique el tamaño de las dimensiones de columnas, zapatas y cimentaciones. Para el diseño del concreto liviano estructural se tuvo que cumplir con la norma ACI sobre la resistencia a la compresión los promedios del concreto liviano estructural de 7, 14, 21 y 28 días de curado son 140, 163, 170 y 184 kg/cm² respectivamente, es así que a los 28 días de curado el concreto liviano estructural adquiere una resistencia mayor a 175 kg/cm² y una resistencia cercana al concreto de peso normal de 190 kg/cm².

Ituza y Ticono, (2019). En el desarrollo de la investigación se presentan las dosificaciones para concretos de baja densidad, utilizando agregados naturales livianos tales como la ceniza volcánica, escoria volcánica y piedra pómez; como agregado industrial se utilizó las perlitas de poliestireno expandido. Se realizó un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, logrando obtener diseños de concreto estructural con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y con densidades inferiores a 1900 kg/m³. Proponiendo así diseños de concreto de baja densidad para su aplicación en edificaciones sobre un suelo con baja capacidad portante.

Tupa, (2018). El desarrollo de la investigación se realizó bajo diversos aspectos generales de la investigación, revisándose la teoría respecto al concreto normal, ligero y un breve resumen de la geología de los materiales. Realizando la medición de las propiedades fisicoquímicas de los agregados para luego continuar con el diseño de mezclas, continuando con la caracterización físico-mecánica del concreto ligero, se analiza los resultados para poder analizar lo último del proceso. Logrando así concluir

que es posible obtener resistencias estructurales normales y altas a partir del uso de escoria y ceniza volcánica en concreto, donde se cumple ampliamente las resistencias mínimas de compresión y tracción sugeridas por el ACI211.2-98.

Alayo y Polo, (2019). Su investigación consistió en determinar la influencia del porcentaje de piedra pómez en el aumento de la resistencia a la compresión y peso unitario del concreto. Para desarrollar el estudio se aplicó diferentes porcentajes de piedra pómez al concreto convencional reemplazando al agregado grueso en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%; para disminuir su peso unitario y optimizar la resistencia, obteniendo que el porcentaje óptimo es de 10%, alcanzando un f'_c de 277 kg/cm² a los 28 días. Además, se realizó 3 modelaciones estructurales sismo estático de un edificio de 6 pisos para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura, Edificio A: según el ACI, con un peso específico de 2400 kg/m³ y un $f'_c=210$ kg/cm²; Edificio B: conformado por un concreto patrón de laboratorio, con un peso específico de 2520 kg/m³ y un $f'_c= 238$ kg/cm² y Edificio C: conformado por un concreto de 10% de sustitución de piedra pómez, con un peso específico de 2460 kg/m³ y un $f'_c=277$ kg/cm², obteniendo de éste último resultados de distorsiones entre los valores de 0.003 mm y 0.007 mm, los cuales se encuentran en los parámetros establecidos por la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, concluyendo que el Edificio A y B no cumplen con dicha normativa.

Tantaquilla, (2017). Se enfocó en la obtención de Concretos livianos estructurales compuesto por un agregado liviano natural como la piedra pómez. Realizo una mezcla patrón de concreto convencional con agregados naturales de las canteras existentes en Huanchaco - Trujillo y otro concreto liviano con el uso de piedra pómez encontradas en la costa norte del mar peruano, el uso de esta piedra se hizo en diferentes tamaños, para ambos casos el reemplazo de los agregados se dio de acuerdo con los volúmenes que ocupaban en la mezcla en los siguientes porcentajes 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. A ambos agregados livianos y convencionales, se les realizaron los ensayos de caracterización bajo las Normas ASTM, los cuales

fueron requeridos para efectuar los diseños de mezcla de concreto bajo la norma ACI 211. Se elaboraron probetas de 100 x 200 mm (4 x 8 in) de acuerdo a la norma ASTM C192. Usándose 4 réplicas por cada variable para obtener una confiabilidad del 95 %. En el caso del concreto convencional, se estudiaron mezclas de concreto con relación a/c de 0.583 para una resistencia de 210 kg/cm², obteniendo resistencias a la compresión promedio de 296 kg/cm² a los 28 días de curado y 323 kg/cm² a los 56 días de curado. Por otro lado, el reemplazo óptimo del agregado grueso por piedra pómez se encuentra en el rango de 20% a 60% en volumen, obteniendo valores de resistencia a compresión de 276 kg/cm² a 233 kg/cm² a 28 días de curado y 303 kg/cm² a 259 kg/cm² a 56 días de curado.

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Hernández et al, (2015). Se habla convencionalmente que los concretos poseen una densidad de 2400 kg/cm³ y al ser este el material de preferencia para las construcciones implica de primera mano que toda edificación deba tener un gran peso por unidad de volumen, se ha estudiado con anterioridad la utilización de agregados livianos con un alto índice de porosidad para reducir la densidad de los concretos, como lo son las arcillas expandidas, escorias de alto horno, piedra pómez, poliestireno e inclusiones de aire, obteniendo concretos que poseen una densidad por mucho inferior a concreto convencional. Pero al igual se han visto disminuidas las propiedades mecánicas y de alta resistencia.

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

Mouhammed, (2020). En el estudio experimental realizado sobre cuatro tipos de agregado grueso para producir concreto liviano. Estos cuatro tipos son: piedra caliza blanca, piedra caliza roja, fragmentos de ladrillos de

arcilla y piedra pómez, utilizando cemento portland ordinario para todas las mezclas. La proporción de agua a cemento utilizada fue (0.5). Las características investigadas para todas las mezclas de concreto fueron trabajabilidad, resistencia a la compresión, densidad seca, absorción y conductividad térmica. Los resultados indicaron que el tipo de agregado afecta significativamente la mayoría de las propiedades de las mezclas de concreto liviano, como la trabajabilidad, la densidad y el aislamiento térmico. Nos indicaron al final de la investigación una mejora en términos de densidad, trabajabilidad y conductividad térmica en comparación con la mezcla de hormigón de referencia.

Oktay et al, (2015). Realizó una investigación experimental para producir un nuevo cemento a base de cemento con relativamente alta resistencia baja densidad y buenas propiedades térmicas para edificios energéticamente eficientes. Los hormigones estudiados contienen humo de sílice (SF), superplastificante (SP) y aditivos incorporados por aire con una relación agua-cemento constante, y agregados normales reemplazados por agregados ligeros (LWA) incluyendo piedra pómez (PA), perlita expandida (EPA) y agregados de caucho (RA) en diferentes fracciones de volumen 10%,20%,30%,40% y 50%. Se producen 102 muestras con diferentes materiales y composiciones. La investigación reveló que la adición de PA, EPA y RA redujo la densidad aparente y resistencia a la compresión, mejorando además las características de aislamiento de los hormigones compuestos. Por último, se encontró que las reducciones en la conductividad térmica y difusividad de las muestras alcanzaron el 82% y el 74%, respectivamente.

Baquero, (2019). En el estudio se realizó los diseños de mezcla con arcilla expandida y piedra pómez totalmente saturados y sin saturar. La mezcla consistió de cemento, agua, piedra pómez y arcilla expandida, en algunos casos se emplearon aditivos como fibras de polipropileno, humo de sílice y superplastificantes, estos últimos se utilizaron para poder estudiar el incremento en la resistencia a la flexión y compresión del concreto. Donde se elaboraron cilindros, viguetas y paneles obteniendo densidades de 1300

a 1500 kg/m^3 y resistencia a la compresión de 130 a 180 kg/cm^2 , realizando ensayos de densidad de equilibrio para concretos ligeros, porcentajes de vacíos, absorción capilar y microscopia electrónica de barrido (SEM); con el fin de identificar las propiedades de los agregados y el concreto.

Guzmán, (2020). En el estudio realizado analizan las propiedades térmicas de una mezcla elaborada con cal hidratada, ceniza y roca volcánica (piedra pómez) que pueda sustituir al cemento portland, sin comprometer la resistencia térmica de edificaciones sometidas a temperaturas elevadas, y permitiendo el ahorro de recursos relacionados con la calcinación de las rocas utilizadas en la elaboración del cemento, así como la reducción en las emisiones de dióxido de carbono. Se realizaron pruebas relacionadas con la medición del calor específico, conductividad, resistividad y difusión térmica a una serie de mezclas elaboradas con diferentes proporciones en cada uno de sus componentes, determinando aquellas que mostraron el mejor desempeño en cada una de las propiedades térmicas analizadas. La conductividad y difusividad crecen.

Morales, (2018). El objetivo principal de la investigación fue fabricar un hormigón de baja densidad que a su vez tenga características estructurales y además se pueda determinar mediante ensayos y correlaciones los parámetros físicos y mecánicos del hormigón ligero. Se elaboro el hormigón estructural de baja densidad con el uso de agregado ligero (piedra pómez) ,agregado fino y cemento tipo GU de uso general ,basándose en tres normativas: ACI 18- 14:Requisitos del Código para Hormigón estructural ,ACI 211.1-98: Practica estándar para seleccionar proporciones de hormigón estructural ligero y ACI 213R-14:Guia para concreto estructural agregado ligero ,las cuales proveen de tablas para la estimación de las cantidades de material, dependiendo de la resistencia que quiere alcanzar. Utilizando la dosificación de diseño se consigue un hormigón ligero estructural con una resistencia a la compresión a los 28 días de 282 kg/cm^2 y densidad de equilibrio de 1.81 kg/cm^3 .

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Concreto liviano estructural

Según ACI 213R-03 (2003). Cada una de las características mecánicas que poseen los agregados livianos llegan a establecer alguna relación con las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Sin embargo, hay que resaltar que las propiedades del concreto liviano, con las del concreto de peso normal tienen en común el estar ambas muy influenciadas por la calidad de la matriz cementosa. Las propiedades específicas de los agregados que pueden afectar las propiedades del concreto son las siguientes:

2.3.2 Agregados ligero-estructurales

Estructura interna de los agregados

Según ACI 213R-03 (2003). Los agregados ligeros poseen una densidad relativa de baja partícula producido por el sistema de poros celulares. La estructura celular al interior de las partículas se desarrolla de forma normal al calentar ciertas materias primas hasta llegar a la fusión incipiente; a esta temperatura, los gases se desarrollan en el interior de la masa, generando la expansión, que se retiene al enfriar. Los agregados fuertes, duraderos y livianos poseen un sistema de poros distribuidos de manera uniforme que tienen un rango de tamaño aproximado de 5 a 300 μm , desarrollado en una fase vítrea constante, relativamente sin grietas y de gran resistencia. Los poros cercanos a la superficie son extremadamente permeables y se llenan con agua en las primeras horas de exposición a la humedad. Los poros interiores, por otro lado, se llenan extremadamente lentos, con muchos meses de inmersión necesarios para alcanzar la saturación. Una mínima fracción de los poros en el interior no están esencialmente interconectados y permanecen vacíos aun después de años de inmersión.

Propiedades de los agregados livianos

Según ACI 213R-03 (2003). Cada una de las características mecánicas que poseen los agregados livianos llegan a establecer alguna relación con las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Sin embargo, hay que resaltar que las propiedades del concreto liviano, con las del concreto de peso normal tienen en común el estar ambas muy influenciadas por la

calidad de la matriz cementosa. Las propiedades específicas de los agregados que pueden afectar las propiedades del concreto son las siguientes:

1. Forma de las partículas y textura de la superficie

Los agregados livianos de distintas fuentes, o producto de diferentes métodos, pueden diferir de manera considerable en la forma y textura de las partículas. Entre las formas pueden ser cúbica y regular, esencialmente redondeada o angular e irregular. Las texturas superficiales varían desde relativamente suaves con poros pequeños expuestos a irregulares con poros pequeños a grandes. La forma de la partícula y la textura de la superficie de los agregados finos y gruesos influyen en la dosificación de las mezclas en factores tales como la trabajabilidad, la capacidad de bombeo, la proporción de agregados finos a gruesos, el contenido de aglomerante y el requerimiento de agua.

2. Densidad relativa

Dado a la estructura celular que posee, la densidad relativa de las partículas de agregados ligeros es baja en comparación a la de los agregados de peso normal. Por otro lado, la densidad relativa de partículas livianas de un agregado liviano varía con el tamaño de las partículas, siendo para las finas más alta y para las gruesas más baja, y según el método de procesamiento depende la magnitud de las diferencias. El rango práctico de densidades relativas de agregados gruesos y livianos, corregido a la condición seca, es de aproximadamente $1/3$ a $2/3$ que para los agregados de peso normal. Las densidades inferiores a este rango pueden requerir más cemento para poder obtener la resistencia deseada y, por lo tanto, pueden no cumplir con los requisitos de densidad del concreto.

3. Densidad aparente

La densidad aparente del agregado ligero, debido a la estructura celular que posee es considerablemente que la de los agregados de peso normal. Para la misma gradación y forma de partículas, la densidad aparente de un agregado es esencialmente proporcional a

las densidades relativas de partículas. No obstante, los agregados con la misma densidad de partículas pueden tener densidades de volumen totalmente diferentes, esto a razón de las diferencias de porcentajes de vacíos en los volúmenes de agregados de diferentes formas de partículas; ya se de forma seca o suelta.

En el caso de la grava redondeada y la piedra triturada, las diferencias pueden ser de hasta 10 lb / ft³ (160 kg / m³), para una misma densidad de partículas y nivelación, en la condición de varilla seca. Los agregados ligeros redondeados y angulares que poseen una misma densidad de partículas pueden variar en 5 lb / ft³ (80 kg / m³) o más en la condición de secado, pero la masa de cualquiera ocupará el mismo volumen en el concreto. Esto debe considerarse al evaluar la viabilidad cuando se usan distintos agregados. (Ver tabla 1).

Tabla 1: Requisitos de máxima densidad aparente seca suelta de agregados livianos para concreto estructural.

Designacion de tamaño	Maxima densidad aparente seca suelta kg/m ³ (lb/ft ³)
Agregado fino	1120 (70)
Agregado grueso	880 (55)
Agregado combinado fino y grueso	1040 (65)

Fuente: ASTM C330-05

4. Resistencia de los agregados ligeros

Las resistencias de las partículas de los agregados varían según el tipo y la fuente, y solo pueden ser medidas de forma cualitativa. Algunas partículas son fuertes y duras y otras débiles y friables. Para la resistencia a la compresión de hasta aproximadamente 5000 psi (350 kg/cm²), no existe una correlación que sea confiable entre la resistencia del agregado y la resistencia del concreto.

5. Porosidad total

El grado de saturación de las partículas de agregados livianos y la absorción de la porosidad son requeridos para la adecuada distribución de mezclas de concreto y para los ajustes de campo del concreto liviano. El grado de saturación se puede evaluar en base a mediciones de un picnómetro, que en varios niveles de absorción determinan la densidad relativa, lo cual permite la dosificación por el procedimiento de volumen absoluto.

Por lo general, los poros son definidos como el espacio aéreo al interior de una partícula de agregado individual y los vacíos se definen como el espacio intersticial entre las partículas de los agregados. La porosidad se puede determinar en base a los valores medios de la densidad relativa de la partícula y densidad aparente.

6. Clasificación

Las especificaciones para la clasificación de agregados ligeros se diferencian de los agregados de peso normal al necesitar que una gran cantidad de agregados livianos pase a través de los tamaños de tamices más finos. Esta variación en la clasificación (ASTM C 330) reconoce el incremento en la densidad al ser menor el tamaño de partícula de los agregados expandidos ligeros. Esta modificación ocasiona de la misma manera una distribución volumétrica de agregados retenidos en una serie de tamices para agregados de peso ligero como de peso normal. (Ver Tabla 2)

Tabla 2: Requisito de granulometría de agregados ligeros para concreto estructural.

Designación de tamaño nominal	Porcentaje (Masa) que pasa tamices con aberturas cuadradas									
	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	300 um (N°50)	150 um (N°100)	75 um (N°200)
Agregado fino:										
4.75mm a 0	...	...	...	100	85-100	...	40-80	10-35	5-25	...
Agregado grueso:										
25.0mm a 4.75mm	95-100	...	25-60	...	0-10	...	...	...	...	0-10
19.0mm a 4.75mm	100	90-100	...	10-50	0-15	...	...	...	...	0-10
12.5mm a 4.75mm	...	100	90-100	40-80	0-20	0-10	...	...	...	0-10
9.5mm a 2.36mm	...	...	100	80-100	5-40	0-20	0-10	...	...	0-10
Agregado combinado de fino y grueso:										
12.5mm a 0	...	100	95-100	...	50-80	...	...	5-20	2-15	0-10
9.5mm a 0	...	...	100	90-100	65-90	35-60	...	10-25	5-15	0-10

Fuente: ASTM C330-05

7. Contenido de humedad y absorción

Los agregados livianos, debido a la estructura celular que poseen, son netamente capaces de absorber más agua que los agregados de peso normal. Sobre la base de una prueba de absorción estándar ASTM C127 expresada a las 24 h, los agregados ligeros por lo general absorben de 5 a 25% en masa del agregado seco, depende según del sistema de poros del agregado. Sin embargo, la mayoría de los agregados de peso normal solamente absorberán menos del 2% de la humedad.

El contenido de humedad existente en una reserva de agregados de peso normal puede llegar a ser entre el 5 a 10% o más. La diferencia que más resalta es que el contenido de humedad en los agregados ligeros se absorbe en el interior de las partículas, así como en la superficie,

mientras que, en los agregados de peso normal, es en gran medida la humedad de la superficie. Estas diferencias son las de mayor relevancia al momento de la dosificación de mezcla, dosificación y control.

8. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto es una función de los módulos de sus constituyentes. El concreto puede considerarse como un material de dos fases que consiste en inclusiones de agregados gruesos dentro de una fracción de mortero continuo que incluye cemento, agua, aire atrapado y agregado fino. Las mediciones dinámicas hechas solo en agregados han mostrado una relación correspondiente a la función $E = 0.008\rho^2$, donde E es el módulo dinámico de elasticidad de la partícula, en MPa, y ρ es la densidad de partículas media seca, en kg/cm^3 .

2.3.3 Propiedades físicas y mecánicas de los concretos livianos estructurales

Según ACI 213R-03 (2003), las propiedades que más se destacan en los concretos estructurales livianos son su baja densidad y su alta resistencia a la compresión. Sin embargo, es importante conocer que este tipo de concreto posee otras propiedades que amplían su uso más allá de un concreto estructural y son:

a) Resistencia a la compresión

El concreto estructural tiene una resistencia a la compresión mínima de 28 días de 2500 psi ($170 \text{ kg}/\text{cm}^2$), todos los agregados poseen límites de resistencia, y con agregados livianos, el límite de resistencia por lo general se puede aumentar al reducir el tamaño máximo del agregado grueso.

b) Densidad de concreto liviano

La densidad fresca en el concreto liviano es una función de las proporciones de la mezcla, el contenido de aire, la demanda de agua, la densidad relativa de las partículas y el contenido de humedad absorbida del agregado liviano, la medición de la densidad de concreto fresco recién mezclado acuerdo con el método de ensayo ATSM C138; y cuando se conocen los pesos y los contenidos de humedad de todos los constituyentes del concreto, se puede determinar una densidad de equilibrio según ASTM C567.

c) Concreto de densidad especificada

El concreto contiene limitadas cantidades de agregados livianos que dan densidades de concreto en equilibrio superiores a 120 lb/ft^3 (1920 kg/m^3) como resultado, pero menores en comparación al concreto compuesto completamente de agregados de peso normal, se define como concreto de densidad especificada.

d) Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto depende de la cantidad relativa de agregado y de pasta y el módulo que constituye a cada uno. El módulo de elasticidad de concreto de peso normal tiene un coeficiente mayor porque los módulos de arena, piedra y grava son mayores que los módulos de agregados livianos. Se considera que el módulo de elasticidad para concreto liviano ronda entre $1/2$ a $3/4$ que el concreto de arena y grava de la misma resistencia.

e) El coeficiente de Poisson

Los ensayos para determinar el coeficiente de Poisson del concreto liviano, por métodos de resonancias comprobaron que varía solo ligeramente con la edad, la resistencia o el agregado utilizado, y que los valores varían en un rango entre 0.16 y 0.25 con un promedio de 0.21 y método estático para concreto liviano y de peso normal se obtuvo valores que rondan entre 0.15 y 0.25 y promediaron 0.2. Si bien esta propiedad varía ligeramente con la edad, las condiciones de prueba y las propiedades físicas del concreto, generalmente, se puede asumir un valor de 0.20 para propósitos de diseño práctico.

f) La fluencia

La fluencia es el incremento de la deformación del concreto bajo una tensión sostenida. Las propiedades de fluencia del concreto poseen ventajas y desventajas, según las condiciones estructurales. Las concentraciones de tensión, ya sea de compresión o de tracción, se pueden disminuir mediante la transmisión de tensión a través de la fluencia, o la fluencia puede ocasionar una deflexión excesiva durante un periodo prolongado, pérdida de pretensado o pérdida de curvatura.

g) Contracción por secado

La contracción por secado es una propiedad de las más importantes que puede tener efecto sobre el grado de agrietamiento, pérdida de pretensado, resistencia a la tensión efectiva y deformación. Se debe entender que los elementos de concreto de tamaño considerable, o aquellos con humedad relativa de alto grado en el ambiente, pueden sufrir una contracción sustancialmente menor que la que muestran los especímenes en ensayos de laboratorios almacenados a una humedad relativa del 50%.

h) La resistencia a la tracción

Es un método muy eficiente para medir la resistencia a la tracción. Este método cubre la determinación del esfuerzo de tensión por partidura de muestras cilíndricas de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados, se puede determinar como indica la norma ASTM C496.

i) Módulo de ruptura

El módulo de ruptura (ASTM C78) también es un método de medida de la resistencia a la tracción del concreto. Las diferentes investigaciones han indicado que los ensayos de módulo de ruptura del concreto en proceso de secado son altamente sensibles al contenido de humedad transitoria y, en estas condiciones, pueden no proporcionar resultados fiables que se puedan reproducir de forma satisfactoria. Se recomienda que los requisitos de módulo de ruptura para concreto liviano estructural sean de 0.85.

j) Máxima deformación

La máxima deformación por compresión para concreto estructural que contiene agregado liviano grueso y fino puede ser ligeramente superior que el valor de 0.003 in/in, asumido para fines de diseño.

k) Durabilidad

El concreto estructural ligero que posee un aglutinante de alta calidad brinda resultados de durabilidad con una enorme capacidad de deformación máxima, debido a que este tiene una alta relación de resistencia/módulo de ruptura. Las investigaciones de laboratorio indican que el concreto liviano proporcionado y colocado de una forma

adecuada tiene un rendimiento igual o superior que el concreto de peso normal.

l) Absorción

En las pruebas se indica que las pruebas de ensayos de concreto liviano de alta calidad poseen una absorción muy baja y, por lo tanto, mantuvieron su baja densidad. Debido a esto la permeabilidad del concreto liviano es extremadamente baja y por lo general, igual o considerablemente menor para los especímenes de concreto de peso normal.

2.3.4 Materiales componentes del concreto liviano

Abanto, (2019). Afirma que los materiales que componen son los siguientes

a) Ligantes (pasta)

- Cemento
- Agua

b) Agregado

- Agregado fino: arena
- Agregado grueso: grava, piedra chancada, confitillo, piedra pómez.

Las etapas principales para la producción de un buen concreto son:

- Dosificación
- Mezclado
- Transporte
- Colocación
- Consolidación
- Curado

c) Cemento

Según la NTP 334.009 (2005). El Cemento Pórtland es un “cemento hidráulico producido por medio de la pulverización del Clinker compuesto principalmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene en su mayoría sulfato de calcio y de forma ocasional caliza como adición durante la molienda”.

Torre (2004). El Cemento Pórtland es un agente de unión, es un material en polvo que reacciona de forma química con el agua y forma la llamada pasta, cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados

(arena y grava, piedra chancada, hormigón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados, después de haberse unido se endurece al estar seco para formar el concreto.

d) Los tipos de cemento portland

Según NTP 334.009 (2005). Los tipos de cementos Portland están clasificados según sus propiedades específicas y son los siguientes:

- Tipo I: para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo II: para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo III: se utilizada cuando se requiere altas resistencias iniciales. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo IV: se emplear cuando se desea bajo calor de hidratación. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).
- Tipo V: se emplear cuando se desea alta resistencia a los sulfatos. (NTP 334.009 Y ASTM C150-84).

e) Mecanismo de hidratación del cemento

Según Pasquel, (1993). El proceso de hidratación es generado por las reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que realizan el cambio del estado fresco al endurecido, la velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la fineza del cemento e inversamente proporcional al periodo que demore, por lo que al comienzo es bastante rápida y va disminuyendo de forma progresiva con el transcurso de los días, dependiendo de la temperatura, el tiempo y la relación entre la cantidad de agua y cemento se genera la reacción en el proceso de hidratación; además se definen las etapas que son estado plástico, el fraguado inicial y final y el endurecimiento.

Las etapas del proceso de hidratación son las siguientes:

- Plástico: Es la mezcla del agua y el polvo de cemento; cuanto más baja es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada, entonces la hidratación es posee una más resistencia.

- Fraguado inicial: condición de la mezcla del cemento que inicia la etapa de endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el calor de hidratación.
- Fraguado Final: es la etapa que inicia al finalizar el fraguado inicial, caracterizándose por el endurecimiento significativo y deformaciones permanentes.
- Endurecimiento: comienza al término del fraguado final y es el estado en que se mantiene e incrementan su resistencia con el tiempo.

f) El agua para el concreto

Abanto et. al, (2009). “El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido”. El agua es el insumo de vital importancia en el concreto, ya que es en el cual el cemento experimenta reacciones químicas que generan el desarrollo del fraguado y del endurecimiento y formar un elemento rígido y durable conjuntamente con la adición de agregados. El agua que se adiciona en la preparación del concreto fresco tiene como función hidratar el cemento y asegura la manejabilidad del concreto fresco, a pesar de que solo el 20 - 25% de la masa del cemento debe ser agua para la reacción química con el cemento, se necesita agua adicional para lograr una hidratación completa, así como una buena trabajabilidad.

g) Agregados

Torre et. al, (2004). Dice que el agregado es el conjunto de partículas inorgánicas que poseen un origen natural o artificial y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados (NTP 400.011).

- Tamaño máximo: Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.
- Tamaño nominal máximo: Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido.
- Módulo de fineza: Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado

en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100 (ver Fórmula 1).

$$\frac{\sum \% \text{Acum. Retenidos } ((11/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100))}{100} \dots \text{Fórmula (1)}$$

h) Clasificación de agregados

Torre et. al, (2004). Aunque existen diversas de clasificar los agregados, las principales son:

- Por su naturaleza: los agregados pueden ser de origen natural o artificial, siendo los naturales los que se usan más frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón.
 - El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
 - El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
 - El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.
- Por su densidad: pueden ser clasificados en agregados de peso específico normal con valor varía entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.
- Por su origen, forma y textura superficial: Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos de forma aleatoria por caras redondeadas y angulares.
- Por el tamaño del agregado
Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados:
 - Agregados finos (arenas)
 - Agregados gruesos (piedras).

2.3.5 Propiedades de los agregados

Los agregados poseen diversas propiedades físicas y las principales requeridas para esta investigación están normadas por:

- Granulometría (NTP 400.012 y ASTM C330-05)
- Pesos unitarios sueltos y compactos (NTP 400.017)
- Porcentaje de humedad (NTP 339.185)
- Peso específico y absorción (NTP 400.021, NTP400.022)

2.3.6 Calidad de los agregados

La calidad de los agregados tiene una importancia vital, ya que conforma las 3/4 partes del volumen del concreto, en otras palabras, es el 75%, también su importancia radica en que los agregados tengan buena resistencia y durabilidad y que estén libres de impurezas como barro, limo o material orgánico que disminuyan el grado de unión con la pasta del concreto. Desde el punto de vista económico, es más ventajoso usar una mezcla con el mayor contenido posible de agregado y el menor posible de cemento, pero el costo debe balancear con las propiedades deseadas del concreto en estado fresco y endurecido.

2.3.7 Piedra pómez

Alayo y Polo, (2016). Es una roca volcánica vítrea (ígneas), con densidad baja ($350 - 800 \text{ kg/m}^3$) y muy porosa (17%), de color blanco o gris. En su origen la lava expuesta al aire sufre una alta descompresión; como resultado se obtiene la producción de la desgasificación resultando espacios vacíos separados por angostas paredes de vidrio volcánico. Su conformación química es; (71% de SiO_2), 12.8% de Óxido de Aluminio (Al_2O_3), 1.75% de Óxido de Hierro (Fe_2O_3), 1.36% de Óxido de Calcio (CaO), 3.23% de Óxido de Sodio (Na_2O), 3.83% de Potasio (K_2), 3.88% de H_2O . Posee una textura rugosa y su forma puede ser angulas o redondeada. El tamaño de grano al estado natural tiene una variación desde muy fino hasta diámetros de una pulgada o más (rocas). Es una roca ígnea con alto índice de porosidad, que en condiciones normales contiene 67–75% de SiO_2 y 10–20% de Al_2O_3 , con una textura vítrea. El potasio, el sodio y el calcio están generalmente presentes; insoluble en agua; No es atacado por los ácidos. Alto contenido de aire, cuando se descarga repentinamente por acción

volcánica; Se congela en forma de un vidrio natural altamente vesicular llamado piedra pómez.

2.3.8 Propiedades de la piedra pómez

El origen volcánico de la piedra le provee ciertas características: una gran cantidad de poros y células cerradas dan como consecuencia una porosidad y al mismo tiempo solidez de grano. Su porosidad permite que pueda absorber y retener el agua, además de propiciarle un peso ligero. Debido a su ligereza y su bajo peso puede flotar sobre las aguas a causa del aire contenido en sus orificios. Aparte de eso la piedra pómez posee una resistencia al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua. Las partículas de esta roca volcánica poseen diferentes formas predominando las alargadas y las angulosas. Sus poros u orificios cerrados le proporcionan una baja densidad, debido a esto su comportamiento al impacto es muy ligero. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad, el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie trabajada.

- Dureza: Aunque posee una dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie.
- Textura: Su textura es porosa, esponjosa o espumosa, escoriácea, con muchos huecos y cavidades.
- Densidad: Debido a sus poros cerrados que le brindan una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. 0,7 (0,4 a 0,9) g/cm³.
- Color: Puede ser de color blanco grisáceo, ceniza, amarillento.
- Brillo: piedras pómez frescas son de brillo sedoso.

2.3.9 Uso de piedra pómez

La piedra pómez triturada puede ser utilizada para la fabricación de morteros u hormigones de áridos ligeros, destinados a mejorar las condiciones térmicas y acústicas. Debido a su alta dureza se utiliza frecuentemente como abrasivo en los tratamientos superficiales de las rocas.

- Como filtro de tratamiento de las aguas servidas.

- Material ideal para la realización de muros, porque es porosa, ligera, dura (relativo a la solidez del grano) y no inflamable.
- Es popular en la fabricación de concreto ligero.
- Se usa mayormente como árido para la fabricación de bloques de concreto liviano.
- Es un agregado para el concreto, tiene aislamiento térmico y acústico, y favorece en la construcción de losas, vigas, columnas y cimentaciones.

2.3.10 Diseño de mezcla

Torre et. al, (2004). La selección de la cantidad de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto está definida como el proceso que, teniendo como fundamento su aplicación técnica y práctica de los estudios científicos sobre los elementos que lo conforman y la interacción entre ellos, permite generar un material que satisface de la manera más eficaz posible y económica las especificaciones técnicas y requerimientos particulares del proyecto constructivo. El concreto es un material heterogéneo, conformado por material aglutinante como el cemento Pórtland, material de relleno (agregados naturales o artificiales), agua, aire en estado natural, que se encuentra atrapado o intencionalmente incorporado con alguna finalidad y eventualmente aditivos o adiciones, teniendo en cuenta que cada uno de estos componentes posee propiedades y características que tienen que ser evaluadas.

Información necesaria para un diseño de mezcla

Belito y Paucar, (2018). Dicen que: La dosificación del concreto en lo posible debe de basarse en datos obtenidos en experiencias de laboratorios, en las cuales han sido utilizados los materiales a ser empleados en obra.

Cemento:

- Tipo y marca del cemento seleccionado.
- Peso específico del cemento.

Agua:

- Debe ser potable
- Análisis químico del agua.

- Efecto del agua sobre el tiempo de fraguado, calor de hidratación y resistencias.

Agregados:

- Perfil y textura superficial.
- Análisis granulométrico.
- Peso específico de masa.
- Peso unitario suelto y compacto.
- Porcentaje de absorción y contenido de humedad.
- Pérdida por abrasión.

Criterio general de diseño de mezclas

La finalidad de esta norma es proveer métodos que en condiciones normales sean aplicables para seleccionar y ajustar las proporciones de mezcla para concreto liviano estructural. Estos métodos también pueden ser aplicados al concreto que contiene una combinación de agregado liviano y de peso normal.

2.3.11 Secuencia de diseño de mezclas

- Selección de la resistencia promedio requerido a partir de la resistencia en compresión especificada

Según ACI 211.2-98 (1998). Para cualquier caso en que no se tenga registros existentes de ensayos de resistencia para la obra, para poder obtener la dosificación del concreto, el cálculo para la desviación estándar, la resistencia promedio requerido a la compresión usada, se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Resistencia promedio requerida a la compresión

Resistencia a compresión especificada, f'_c kg/cm ²	Resistencia compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Fuente: ACI 211.2-98.

b) Selección del tamaño nominal del agregado

Según ACI 211.2-98 (1998). El tamaño máximo nominal más grandes de los agregados bien clasificados tiene menor cantidad de vacíos en comparación con los tamaños más pequeños. Debido a esto, el concreto con agregados de mayor tamaño requiere menos mortero por unidad de volumen de concreto.

En otras palabras, el tamaño máximo nominal del agregado debe ser el más grande que sea posible y sea económicamente factible; a su vez debe ser consistente con las dimensiones de la estructura y que en ningún caso sobrepase:

- Un quinto, de la menor dimensión, entre caras de encofrados.
- Un tercio de la altura de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre entre las barras alambre individual de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de pre-esfuerzos.

c) Selección del asentamiento

Según la NTP 339.035. En el caso que no se haya especificado el asentamiento, se puede seleccionar un valor adecuado, según como se muestra en la Tabla 4. Estos rangos de asentamiento son aplicados cuando se usa la vibración para consolidar el concreto. Se debe utilizar mezclas con la mayor consistencia más rígida posible que se puedan colocar de manera eficiente.

Tabla 4: Rangos de asentamiento del concreto

Construcción de concreto	Asentamiento mm (pulgada)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75(3)	25(1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75(3)	25(1)
Vigas y muros reforzados	100(4)	25(1)
Columnas de edificios	100(4)	25(1)
Pavimentos y losas	75(3)	25(1)
Concreto masivo	75(3)	25(1)

Fuente: ACI 211.2-98.

d) Determinación del factor cemento

El factor de cemento utilizado por cada unidad de volumen se halla como indica los pasos 4 y 5 anteriormente. Hay que destacar, que en caso la especificación incluye un límite mínimo separado para el cemento además de los requisitos de resistencia y durabilidad, entonces la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

e) Resistencia del concreto

Matamoros, (2019). La principal característica del concreto es su elevada capacidad de resistencia a la compresión, siendo este el factor que se emplea frecuentemente para definir su nivel de calidad, la cual puede ser hallado mediante el ensayo de laboratorio establecido en la NTP (Normas Técnicas Peruanas), generando la falla de un cilindro Standard de 30 cm. de alto por 15cm de diámetro, luego de permanecer sumergido en agua durante un periodo de 28 días, para luego ser sometido a fuerzas de compresión axial en una maquina universal. Las condiciones en que el ensayo fue realizado influyen en el valor de resistencia resultante. Entre ellas tenemos las siguientes variaciones:

- Contenido y tipo de cemento usado.
- Eficiencia lograda en el mezclado del cemento.
- Característica y efectividad de los aditivos utilizados.
- Calidad y cantidad de agua usada.
- Tiempo transcurrido después de realizados la humectación, mezclado y compactado de los materiales.
- Grado de compactación alcanzado.
- Duración y método de realización del curado.

f) Estimación del contenido de agua y aire de la mezcla

Según ACI 211.2-98 (1998). La forma de las partículas y la clasificación de los agregados, la cantidad de aire atrapado y la inclusión de aditivos químicos. En la Tabla 5, se muestran las estimaciones aproximadas del agua de mezcla requerida para el concreto hecho con varios tamaños máximos nominales de

agregado, con y sin arrastre de aire. El contenido de aire recomendado para un concreto liviano se muestra en la Tabla 6.

Según la textura y la forma del agregado, el requerimiento de agua de mezcla puede ser superior o inferior al de los valores tabulados, pero son lo suficientemente precisos para la primera estimación. Dichas diferencias en la demanda de agua no se reflejan necesariamente en la fortaleza.

Tabla 5: Requisitos aproximados del contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados

Revestimiento (asentamiento) (pulg.)	Agua, pulgadas por yarda cúbica de concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	3/8 pulg.	1/2 pulg.	3/4 pulg.	1 pulg.	1½ pulg.	2 pulg.	3 pulg.	6 pulg.
Concreto sin aire incluido								
1 a 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 a 4	385	360	340	325	300	285	245	210
6 a 7	410	385	360	340	315	300	270	
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
1 a 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 a 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 a 7	365	345	325	310	290	280	260	
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición blanda	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211.2-98.

Tabla 6: Contenido de aire recomendado para concreto liviano

Tamaño máximo	Air content percent by volume
3/4 in. (19mm)	4.5 to 7.5
3/8 in. (10mm)	6 to 9

Fuente: ACI 213 R-03.

g) Selección de la relación de agua-cemento por resistencia

Según ACI 211.2-98 (1998). Para la selección de la relación agua-cemento necesaria se determina no solo por los requisitos de resistencia, sino también por factores tales como la durabilidad y las propiedades de acabado. Ya que diferentes agregados y cementos normalmente generan distintas resistencias a la misma relación agua-cemento, es sumamente importante tener o desarrollar la relación entre la resistencia y la relación agua-cemento para los materiales a utilizar. Ante la carencia de tales datos, los valores más idóneos y relativamente conservadores para el concreto que contiene cemento Portland se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Relaciones a/c por resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a compresión a los 28 días kg/cm ² (Mpa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

Fuente: ACI211.2-98.

Con materiales clásicos, la tabla de la relación agua-cemento debería generar las resistencias mostradas, basadas en pruebas de 28 días de ensayos de muestras curadas en condiciones estándar de laboratorio. La resistencia promedio escogida debe ser superior a la resistencia especificada por un margen suficiente para mantener el número de pruebas bajas dentro de los límites especificados. Para condiciones

severas de exposición, la relación agua-cemento debe mantenerse bajo, a pesar de que los requisitos de resistencia pueden cumplirse con un valor más alto. (Ver tabla 8).

Tabla 8: Relaciones máximas permisibles de agua y cemento para concreto en exposiciones severas.

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima f'_c kg/cm ² (Mpa) [lb/pulg ²]
Concreto protegido de la exportación a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-material cementante basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado	Elija la resistencia basándose en los requisitos estructurales
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando expuesto al agua	0.5	280 (28) [4000]
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0.45	320 (31) [4500]
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobral, agua del mar o rociado de estas fuentes	0.4	350 (35) [5000]

Fuente: ACI211.2-98.

h) Determinación del contenido de agregados gruesos livianos

Según ACI 211.2-98 (1998). Para determinar los agregados, hay que indicar que los posean el mismo tamaño máximo nominal y la clasificación producirán un concreto de manejabilidad satisfactoria cuando se use un volumen específico de agregado grueso, en una base seca y suelta, por unidad de volumen de concreto.

Para una trabajabilidad igual, el volumen de agregado grueso en una unidad de volumen de concreto depende solo de su tamaño máximo

nominal y módulo de finura del agregado fino de peso normal. Las diferencias en la cantidad de mortero requerida para la trabajabilidad con diferentes agregados, debido a las diferencias en la forma de las partículas y la clasificación, se compensan automáticamente por las diferencias en el peso unitario seco y suelto. Los valores adecuados se obtienen de la Tabla 9.

Tabla 9: Volumen del agregado grueso por volumen unitario del concreto

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg)	Volumen del agregado varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
9.50 ($\frac{3}{8}$)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.50 ($\frac{1}{2}$)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 ($\frac{3}{4}$)	0.66	0.64	0.62	0.6
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.50 (1 $\frac{1}{2}$)	0.75	0.73	0.71	0.69
50.00 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75.00 (3)	0.82	0.8	0.78	0.76
150.00 (6)	0.87	0.83	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.2-98.

i) Estimación del contenido de agregado fino.

Según ACI 211.2-98 (1998). Si el peso del agregado fino es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros materiales. Las cantidades de agregados que deben pesarse para el concreto deben permitir la humedad en los agregados. En general, los agregados estarán húmedos y sus pesos secos deberían aumentarse en función del porcentaje de agua que contienen, tanto absorbida como superficial. El agua de mezcla agregada al baño debe reducirse en una cantidad igual a la humedad libre aportada por el agregado (ver Tabla 10).

Tabla 10: Primera estimación del peso del concreto fresco liviano compuesto de agregado ligero y agregado fino de peso normal

Specific gravity factor	First estimate of lightweight concrete weight		
	lb/yd ³		
	Air entrained concrete		
	4 percent	6 percent	8 percent
1	2690	2630	2560
1.2	2830	2770	2710
1.4	2980	2910	2850
1.6	3120	3050	2990
1.8	3260	3200	3130
2	3410	3340	3270

Fuente: ACI211.2-98.

j) Propiedades térmicas

El calor y la temperatura

El calor es la manifestación de la energía interna de un cuerpo debido al movimiento de sus partículas moleculares. Estos tipos de energía que, como cualquier otra son capaces de transformarse de diversas maneras tienen una importancia capital en la tecnología de la edificación, ya que afectan, por una parte, a los mismos edificios y, por otra, al confort de sus ocupantes. Gonzáles, (2003).

La temperatura es una magnitud que sirve para poner en evidencia el calor, haciendo la comparación con otro cuerpo que nos sirve como referencia. La temperatura de un cuerpo, que puede ser medida, con un termómetro, puede tener un valor teórico mínimo de (-273oC), que corresponde a la inactividad total de sus moléculas, pero no tiene un valor máximo. De cualquier manera, las temperaturas que interesan en la tecnología de edificaciones están limitadas por unos valores muy ajustados, donde las unidades de medición son: °C (Celsius), °K (kelvin), °F (Fahrenheit). Obando y Pachacama, (2018).

Conductividad Térmica

El comportamiento térmico del concreto de agregado liviano está relacionado con su conductividad térmica y densidad que, a su vez, está influenciada por su estructura de poros, es decir, el sistema aire-vacío, los agregados y la matriz. De este modo, la conductividad térmica dependerá de la estructura de poros de los agregados livianos y de la matriz de pasta de cemento. El aire es uno de los mejores materiales aislantes. Esto implica que la conductividad térmica de un concreto denso (menos vacíos de aire) es mayor que la del concreto poroso. La conductividad térmica de un material de construcción seco se incrementa añadiendo agua. El concreto húmedo transmite mejor el calor que el concreto seco, porque la conductividad térmica del concreto húmedo es 24 veces la del aire. El calor pasa a través del agua 15 veces más rápido que a través del aire estacionario. Por esta razón, el valor de conductividad térmica del concreto aislante cae cuando se moja. Tupa, (2018).

La conductividad térmica del concreto de agregado liviano está relacionada con su estructura de poros o sistema de vacío de aire. Con el aire como material aislante, el concreto de mayor porosidad y menor densidad tendrá una menor conductividad térmica. El sistema de poros de aire en el concreto de agregados livianos depende del sistema de aglutinante y de los aditivos químicos utilizados. Con la adición de humo de sílice y cenizas volantes, la conductividad térmica disminuye. La reducción es más pronunciada en el caso de ceniza volante que con el humo de sílice en 10 y 20% de reemplazo, pero al 30% de reemplazo, es aproximadamente el mismo. Los agregados porosos producen un concreto de agregados livianos con una conductividad térmica más baja, pero no es sólo el contenido total de aire lo que regula la conductividad térmica. La geometría de los poros y su distribución juegan un papel decisivo en la conductividad térmica. Tupa, (2018).

2.4 Definición de términos básicos

2.4.1 Concreto

El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. Camones, (2019).

2.4.2 Piedra pómez

La piedra pómez una roca ígnea volcánica, con baja densidad —flota en el agua y es muy porosa, de color blanco, amarillento o gris. Gallegos, (2015).

2.4.3 Diseño de mezcla

Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad, resistencia, durabilidad y economía. Belito y Paucar, (2018).

2.4.4 Resistencia a la compresión

Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo Juela et al, (2020).

2.4.5 Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo en horno. Calle, (2019).

2.4.6 Densidad

Es el resultado de la relación entre una masa sobre el volumen de un cuerpo, masa, sustancia o elemento. Cumpa et al, (2018).

2.4.7 Concreto ligero

El concreto ligero (liviano) estructural es un concreto similar al concreto de peso normal, excepto que tiene una densidad menor. Se lo produce con agregados ligeros (concreto totalmente ligero). Veliz, (2018).

2.4.8 Absorción

Es la cantidad de agua absorbida después de la inmersión, de un material sumergido en un determinado tiempo. Barreda y Cahuata, (2018).

2.4.9 Relación agua/cemento

Expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento. Robles, (2019).

2.4.10 Conductividad térmica

La conductividad térmica es el proceso de transferencia de energía térmica de las partes calientes a las partes menos calientes. este intercambio de

energía ocurrirá hasta que la temperatura sea equilibrada en ambas partes.
(Núñez De La Cruz, 2019).

2.4.11 Resistencia a la flexión

Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Masías, (2018).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al determinar la dosis de piedra pómez como agregado grueso mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural, según la norma E060.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez se reduce la densidad del concreto ligero estructural.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez se reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural.
- c) Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez mejora la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.
- d) Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

3.2 Variables

3.2.1 Variables

a) Variable independiente (VI)

Piedra pómez como agregado grueso

- Dosificación de piedra pómez
- Porcentaje de piedra pómez

b) Variable dependiente (VD)

Propiedades físico- mecánicas del concreto ligero estructural

- Densidad del concreto
- Conductividad térmica
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la compresión

c) Definición conceptual

- Piedra pómez como agregado grueso: Elementos del concreto que ocupan el mayor volumen de la mezcla, pero poseen una menor densidad que agregados tradicionales. Ramos, (2017).

- Propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural: Están determinadas por las características físicas y químicas de la mezcla del concreto. Carbajal, (2016).

d) Definición operacional

- Piedra pómez como agregado grueso: Material que se utiliza como agregado en concretos estructurales. Álvarez, (2016).
- Propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural: Capacidad de tolerar una carga determinada que es aplicada sobre un cuerpo. Carbajal, (2016).

3.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 11: Operacionalización de las variables

Variables Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	Ítem
Piedra pómez como agregado grueso	Elementos del concreto que ocupan el mayor volumen de la mezcla, pero poseen una menor densidad que agregados tradicionales. Ramos, (2017).	Material que se utiliza como agregado en concretos estructurales. Álvarez, (2016).	Dosificación de piedra pómez	Dosificación óptima	kg	Cuantitativa continua	Formato de Laboratorio	Norma E060	Indicados en los formatos
			Porcentaje de piedra pómez	Porcentaje óptimo	%				
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Índices	Unidad de medida				
Propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural	Están determinadas por las características físicas y químicas de la mezcla del concreto. Carbajal, (2016).	Capacidad de tolerar una carga determinada que es aplicada sobre un cuerpo. Carbajal, (2016).	Densidad	Porcentaje adecuado de agregados	kg/cm ³				
			Conductividad térmica	Aislamiento	w/ (m.k)				
			Resistencia	Compresión	kg/cm ²				
				Flexión	kg/cm ²				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Método de la investigación

Matamoros, (2019). En su investigación como método general se usó al método científico. Según Borja, (2012). Menciona que: El método científico es el conjunto de estrategias y procedimientos metódicamente secuenciales que tiene como objetivo la comprobación empírica de un planteamiento (hipótesis) y que permita la interpretación de la realidad; sin embargo, sus conclusiones no pueden tomarse como una verdad absoluta. (p. 8). Y el método específico se utilizó el método experimental. Según Borja, (2012). menciona que: “Es aquella investigación en la que la hipótesis se verifica mediante la manipulación “deliberada” por parte del investigador de las variables, donde determinará la relación causa - efecto de un fenómeno físico o social” (p. 14).

Cañarte, (2016). La investigación fue cuantitativa, ya que se realizaron pruebas de laboratorio cuyos resultados fueron numéricos. El enfoque cualitativo observa y describe las características propias de las muestras analizadas.

Alayo y Polo, (2019). El método de investigación que se usó fue el experimental, ya que se utilizó un muestreo probabilístico, la técnica fue la observación y para el análisis de datos, la inferencia estadística con una confiabilidad al 95%.

La investigación es de método deductivo ya que se cuenta con diferentes tipos de informaciones recopiladas que tienen la orientación aplicada a demostrar la influencia del porcentaje de piedra pómez sobre un concreto ligero estructural, de acuerdo a la variable independiente piedra pómez como agregado liviano. El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que se recolectó datos, gráficos y cálculos, obteniendo resultados numéricos para poder sustentar así la hipótesis. Es retrolectivo ya que con los datos recabados nos permite comparar los resultados.

4.2 Tipo de la investigación

Matamoros, (2019). El tipo de investigación es aplicada porque se distingue por tener propósitos prácticos bien definidos, es decir, se investiga para transformar, modificar o producir cambios en determinado sector de la realidad. También afirma que: “La investigación es tecnológica porque está dirigida a descubrir y conocer

qué técnicas son más eficaces o apropiadas para producir cambios o conservar los progresos alcanzados.

Cañarte, (2016). La investigación propuesta fue exploratoria, ya que no existe suficiente información teórica y experimental, siendo también de tipo descriptiva, que se basa en: registrar, analizar e interpretar las propiedades de la piedra pómez a través de pruebas de laboratorio.

Alayo y Polo, (2019). La investigación analizada es aplicada debido a que busca emplear conocimientos adquiridos en la elaboración de un concreto ligero utilizando un óptimo porcentaje de piedra pómez. Siendo también de tipo experimental ya que tiene el control de la variable independiente, se medirá a través de probetas utilizando diferentes tipos de porcentajes de piedra pómez y someténdolas a un ensayo de compresión.

La investigación es de tipo descriptiva correlacional debido a que se busca determinar el porcentaje óptimo de piedra pómez que busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural.

4.3 Nivel de la investigación

Matamoros, (2019). El nivel explicativo, “Van más allá de la descripción de conceptos están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales; se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta “. En la presente investigación se da a conocer causa que origina el problema y explicar el comportamiento en las variables a través de los ensayos realizados.

Cañarte, (2016). El nivel de investigación fue exploratoria descriptiva, ya que se analiza, registra y cuantifica las características de la piedra pómez. Ya que se busca obtener el estudio de aumento de resistencia a la compresión, durabilidad de hormigón liviano con piedra pómez de dimensiones 4,76 mm y 9,51 mm como solución estructural y económica de la construcción.

Alayo y Polo, (2019). Es un diseño experimental porque se tiene el control de la variable independiente, que influirá sobre la variable dependiente, se medirá

mediante la elaboración de concreto a través de probetas utilizando diferentes porcentajes de piedra pómez.

La investigación es de nivel descriptivo ya que daremos solución, creando procedimientos, porque antes hemos cuantificado.

4.4 Diseño de la investigación

Matamoros, (2019). Esta investigación tiene como diseño de investigación general al “Diseño de investigación Experimental”; y como diseño específico corresponde al “diseño con posprueba únicamente y grupo control”. Tal como se muestra en la Fórmula 2

$$\begin{array}{l} GE: \frac{X O_1}{GC: -O_2} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 2)} \end{array}$$

Donde:

GE: grupo experimental

GC: grupo de control

O1 y O2: Post test

X: manipulación de la variable independiente

(Cañarte ,2016). La investigación es de tipo experimental ya que se manipulo la variable independiente, donde se pudieron determinar los cambios y/o influencias logrando así concluir los resultados.

Alayo y Polo, (2019). El diseño de investigación es experimental puro, debido a que reúne tres requisitos fundamentales: Tener el control o un patrón, tener aleatoriedad, y repeticiones en su elección, así mismo este tipo de diseño permite evaluar más de una variable dependiente.

La investigación es un estudio documental, bibliográfica y descriptiva porque se apoya en un marco teórico - técnico a partir de artículos científicos, investigaciones que involucran las variables de estudio, especificaciones técnicas, entre otros.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

Matamoros, (2019). La población de estudio en el proyecto de investigación está conformada por 48 probetas de concreto de $f'c = 175$ kg/cm², siendo conformadas por:

- 24 probetas elaboradas con agregado grueso de piedra pómez.
- 24 probetas elaboradas con agregados grueso de piedra chancada.

Cañarte, (2016). La presente investigación se realizó bajo la modalidad de no probabilística, intencional, en el cual el investigador decide el universo de estudio, la población y el tamaño de la muestra de acuerdo a su criterio técnico, de tal manera que esta investigación estudió a la piedra pómez como elemento principal de un hormigón liviano.

Alayo y Polo, (2019). Todos los tipos de concretos realizados según la normativa peruana NTP 339.034/ ASTM C 39 en el Laboratorio de Concreto de la Universidad Privada del Norte – Trujillo, 2019.

4.5.2 Muestra

Matamoros, (2019). La muestra de estudio en el proyecto de investigación está conformada por 48 probetas de concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Cañarte, (2016). La selección de la muestra se dirigió intencionalmente a la piedra pómez, que se obtuvo en la Cantera La Calera, del Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, como material liviano con el propósito de fabricar de hormigón liviano estructural, donde se escogió especímenes para satisfacer los objetivos del estudio y los criterios de la investigación durante el periodo de septiembre del 2014 a septiembre del 2015.

Tabla 12: Dimensiones de la muestra de piedra pómez

Nombre de la muestra	Dimensiones de la muestra
Piedra pómez gruesa (9.51mm)	Pasante malla 3/8" contiene malla N°4
Piedra pómez media (4.76 mm)	Pasante malla N°4 hasta malla N°50

Fuente: Datos de la investigación (Normas Técnicas NTE-INEN 872-ASTMC33).

Para las pruebas de compresión del hormigón liviano estructural con piedra pómez, se determinaron probetas cilíndricas de 10 x 20 cm, estableciendo dos muestras por cada ensayo que se ejecutó y para cada tamaño de la piedra pómez. Se fijó como muestra tipo al hormigón hidráulico tradicional, y se realizaron los siguientes diseños de resistencia; $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 390 \text{ kg/cm}^2$.

Se estudió el aumento de resistencia del hormigón liviano estructural con piedra pómez de tamaño pasante 3/8" contiene malla N°4, con diseños de resistencia siguientes; $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 390 \text{ kg/cm}^2$; hormigón liviano estructural con piedra pómez de tamaño pasa malla N°4 hasta malla N°50, con diseños de resistencia siguientes; $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$; $f'c = 390 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 13: Diseño de $f'c$ de las probetas cilíndricas para los tipos de hormigón hidráulica a ensayarse

Tipo de hormigón hidráulico	Diseño de resistencia a la compresión $f'c$. kg/cm^2			Edades para ensayos (días)		
Hormigón hidráulico tradicional. Tamaño máx. del árido grueso (9.51mm)	210	290	390	7	14	28
Hormigón hidráulico liviano con piedra pómez gruesa (9.51 mm)	210	290	390	7	14	28
Hormigón hidráulico liviano con piedra pómez media (4,76 mm)	210	290	390	7	14	28

Fuente: Datos de la investigación.

Alayo y Polo, (2019). El tamaño de muestra para las probetas de concreto se hizo de manera probabilística ya que todos los elementos de la población tienen una probabilidad mayor de cero de ser seleccionadas de la muestra.

Para calcular el tamaño de la muestra, se empleará la Fórmula 3 del manual de estadística de la Universidad Privada del Norte (2016), que considera variables cuantitativas y asumiendo poblaciones infinitas:

Cálculo de especímenes

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2} \dots \dots \dots (\text{Fórmula 3})$$

Donde:

- n_0 = tamaño de muestra
- Z = valor de distribución normal estandarizada para el nivel de confianza fijado por el investigador. (Ver Tabla 14).
- S = desviación estándar de la variable fundamental de estudio o de interés para el investigador. (Ver Tabla 15).
- E = error del muestreo en porcentaje (%) fijado por el investigador.

Tabla 14: Valores de la distribución normal estandarizada

Valores de la distribución normal estandarizada			
Error (Tipo D): Puede ser unilateral o bilateral			
Nivel de confianza (1- α)	Error (α)	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	0.1	1.64	1.28
95%	0.05	1.96	1.64
99%	0.01	2.57	2.32
Error (Tipo I): Siempre es unilateral			
Poder (1 - β)	Error (β)	Valor Z	
0.8	0.2	0.842	
0.9	0.1	1.282	
0.95	0.05	1.645	
0.99	0.01	2.326	

Fuente: Universidad Privada del Norte, (2016).

Tabla 15: Coeficiente de variación

Dispersión total					
Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)					
Clase de operación	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.9	> 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6

Dispersión entre testigos					
Coeficiente de variación V para diferentes grados de control (%)					
Clase de operación	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> 5.0

Fuente: Pasquel E

Para el ensayo de resistencia a la compresión se tomarán los siguientes valores:

Z = El nivel de confianza para este proyecto de investigación será de 95% (Z=1.96).

S = Para el cálculo de la desviación estándar de la variable es 7 kg/cm² para un promedio de resistencia de 200 kg/cm², el valor se ha tomado de un estudio anterior realizado por Tantaquilla, (2017) en su investigación.

E = El error del muestreo se estimará en 4% del promedio de resistencia del estudio mencionado, teniendo como resultado 8 kg/cm².

Con los datos, se reemplazará en la Fórmula 4 y se obtiene como tamaño de la muestra lo siguiente:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 (7 \frac{Kg}{cm^2})^2}{(8 \frac{kg}{cm^2})^2} \dots\dots\dots (F\acute{o}rmula 4)$$

$$n_0 = 2.94 \quad \longrightarrow \quad n_0 = 3.0$$

De acuerdo al cálculo obtenido, se concluye que se realizará un total de 63 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, con un concreto con sustitución de agregado grueso por piedra pómez de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$, y 21 ensayos de peso unitario de concreto en estado fresco considerando el tamaño de muestra y el número los diferentes porcentajes de sustitución de agregado grueso por piedra pómez, los cuales serán distribuidas según la Tabla 16:

Tabla 16: Distribución de muestra de probetas de concreto

		Muestras			
		Resistencia a la compresión			Peso unitario
Tipos	% de piedra pómez	3 días	7 días	28 días	
Patrón	0%	3	3	3	3
	5%	3	3	3	3
	10%	3	3	3	3
Concreto con sustitución de piedra pómez	15%	3	3	3	3
	20%	3	3	3	3
	25%	3	3	3	3
	30%	3	3	3	3
Sub total de especímenes		21	21	21	21
Total, de especímenes		63			21

Fuente: Elaboración propia

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

De las tesis seleccionadas y consultadas se juntó la información con sus respectivos formatos según los ensayos realizados en cada laboratorio, usando también artículos científicos, manuales, normas, especificaciones técnicas, para obtener resultados óptimos los cuales serán utilizados para la presente investigación. Considerando la coyuntura actual que vivimos optamos en buscar herramientas alternas las cuales motivaran a realizar un mejor trabajo de investigación académica como Alicia, ProQuest, repositorios universitarios tanto nacionales e internacionales.

4.6.1 Instrumento de recolección de datos

La recolección de datos para la investigación es retrolectivo ya que se obtuvo la información después de realizada los ensayos de laboratorio.

4.7 Descripción de procesamientos de análisis

De las tesis seleccionadas y consultadas se juntó la información con sus respectivos formatos según los ensayos realizados en cada laboratorio, usando también artículos científicos, manuales, normas, especificaciones técnicas, para obtener resultados óptimos los cuales serán utilizados para la presente investigación. Considerando la coyuntura actual que vivimos optamos en buscar herramientas alternas las cuales motivaran a realizar un mejor trabajo de investigación académica como Alicia, ProQuest, repositorios universitarios tanto nacionales e internacionales.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el análisis y comparación de resultados de la presente tesis que orienta su investigación a la influencia de la piedra pómez como agregado grueso en las propiedades físico – mecánicas del concreto ligero estructural, se realizó la selección de 10 artículos de los 50 investigados, los cuales dentro de su investigación resaltan indicadores que están establecidos en la tesis, con su parámetro guía ver Tabla 17.

Parámetros:

Tabla 17: Clasificación del concreto según la masa unitaria

Masa unitaria (kg/m ³)	Descripción
500-2100	Concreto ligero
2200-2500	Concreto normal (convencional)
2600-5600	Concreto pesado

Fuente: Gómez, (2014).

5.1 Resultados y análisis de la investigación

Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para reducir la densidad del concreto ligero estructural.

Matamoros (2019)

Se utilizó diferentes cantidades de piedra pómez en el ensayo:

Molde 1: 4.825 kg

Molde 2: 4.865 kg

Molde 3: 4.875 kg

(Ver Tabla 18 y Figura 1).

Tabla 18: Ensayo1: Densidad de concreto

#	Piedra pómez (kg)	Densidad (kg/m ³)
Molde 1	4.825	2130
Molde 2	4.865	2121
Molde 3	4.875	2117

Fuente: Matamoros, (2019).

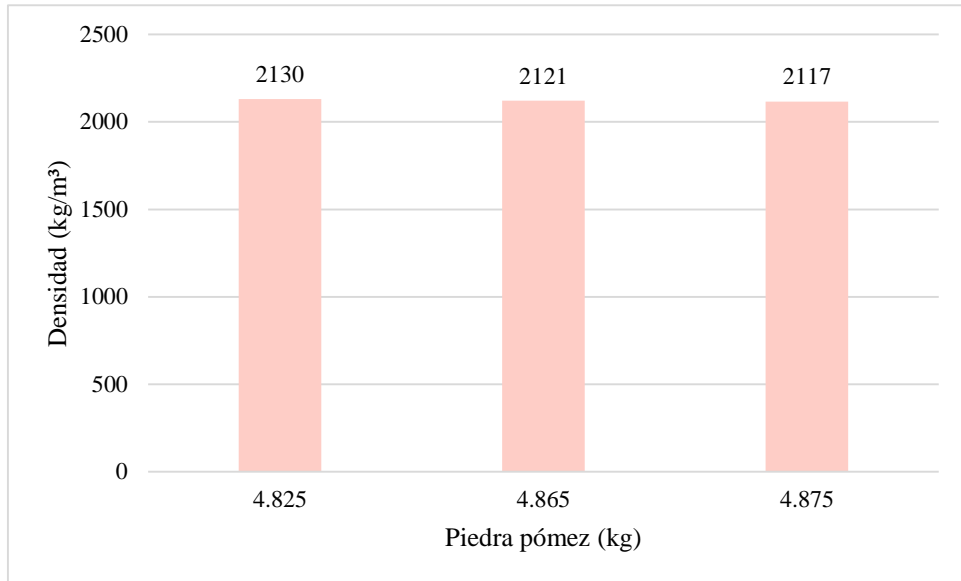


Figura 1: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³)

Fuente: Elaboración propia

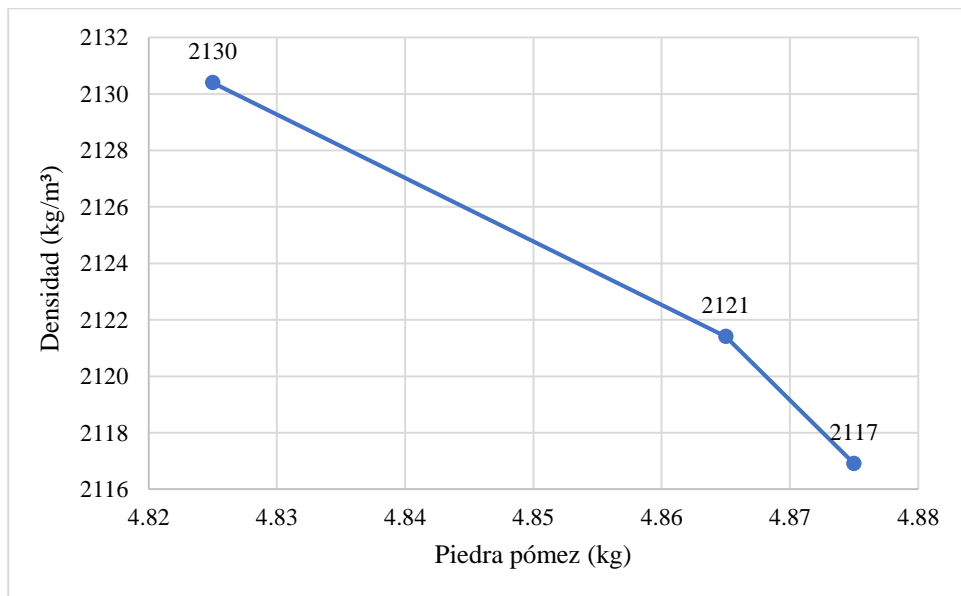


Figura 2: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³)

Fuente: Elaboración propia

Ituza y Ticona, (2019).

Utilizó diferentes pesos de piedra pómez para las muestras:

- Muestra 1: 1.19 kg
- Muestra 2: 2.20 kg
- Muestra 3: 3.00 kg

Tabla 19: Ensayo 2: Densidad de concreto

#	Piedra pómez (kg)	Densidad (kg/m ³)
Molde 1	1.19	2080
Molde 2	2.20	1938
Molde 3	3.00	1824

Fuente: Ituza y Ticona, (2019).

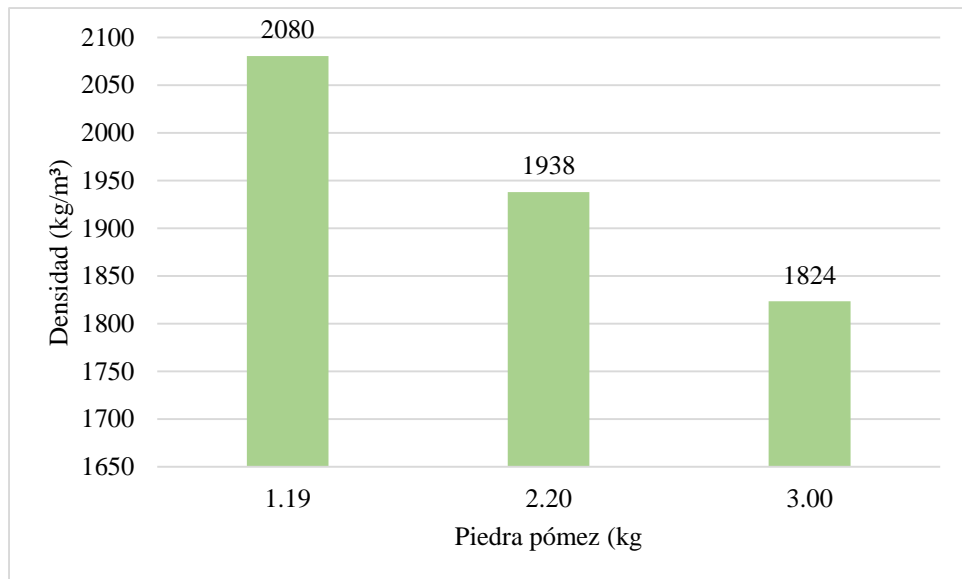


Figura 3: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³).

Fuente: Elaboración propia.

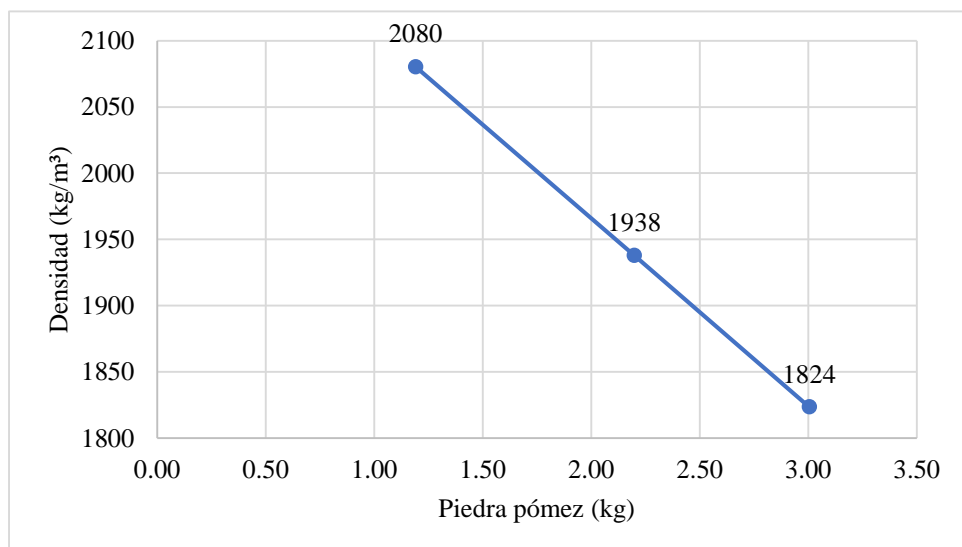


Figura 4: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³)

Fuente: Elaboración propia.

Abdulkarem et al, (2019).

En este estudio se analizó 4 muestras con diferentes pesos de piedra pómez:

- Muestra 1: 0 kg
- Muestra 2: 0.038 kg
- Muestra 3: 0.075 kg
- Muestra 4: 0.113 kg

Para las 4 muestras se utilizó 0.25kg de cemento y una relación a/c de 0.5. Para la muestra 1 se empleó 0.5250 kg de arena, para la muestra 2 fue 0.600 kg de arena, para la muestra 3 fue 0.675 kg y para la muestra 4 fue 0.750 kg de arena, ver Tabla 20, Figura 5 y 6.

Tabla 20: Ensayo 3: Densidad de concreto

#	Piedra pómez (kg)	Densidad (kg/cm ³)
Molde 1	0.000	2300
Molde 2	0.038	1900
Molde 3	0.075	1700
Molde 4	0.113	1400

Fuente: Abdulkarem et al, (2019).

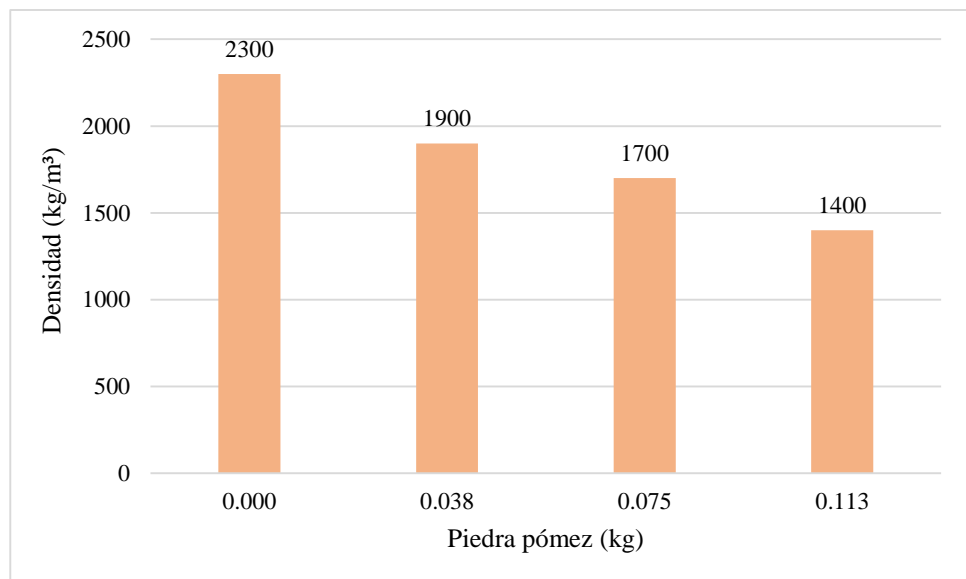


Figura 5: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³)

Fuente: Elaboración propia

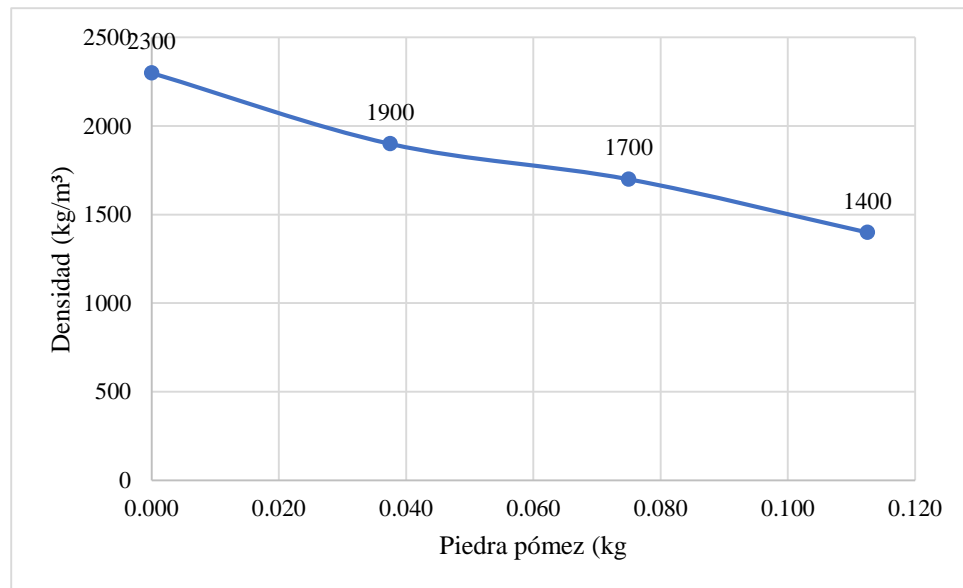


Figura 6: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Densidad (kg/m³)

Fuente: Elaboración propia.

Determinar el porcentaje de piedra pómez que reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural.

Oktay et al, (2015).

Para analizar la conductividad térmica aplicó diferentes porcentajes de piedra pómez a 6 muestras.

- Muestra 1: 0%
- Muestra 2: 10%
- Muestra 3: 20%
- Muestra 4: 30%
- Muestra 5: 40%
- Muestra 6: 50%

En este estudio, se utilizó el dispositivo ISOMET 2104 para medir conductividad térmica. La medida del tiempo fue de aproximadamente 8 a 16 min; con un rango de medición de 0.015 w/m.k a 6 w/m.k y una precisión de 5%+0.001w/m.k para la conductividad térmica.

Para el calor específico el rango de medición fue de 4×10^4 J/m³k a 4×10^6 j/m³k y una precisión de 15%+1.103j/m³k, ver Tabla 21, Figura 7 y 8.

Tabla 21: Ensayo 1: Conductividad térmica del concreto

Conductividad térmica	% Piedra pómez
1.96	0
1.54	10
1.25	20
0.78	30
0.56	40
0.4	50

Fuente: Oktay et al, (2015).

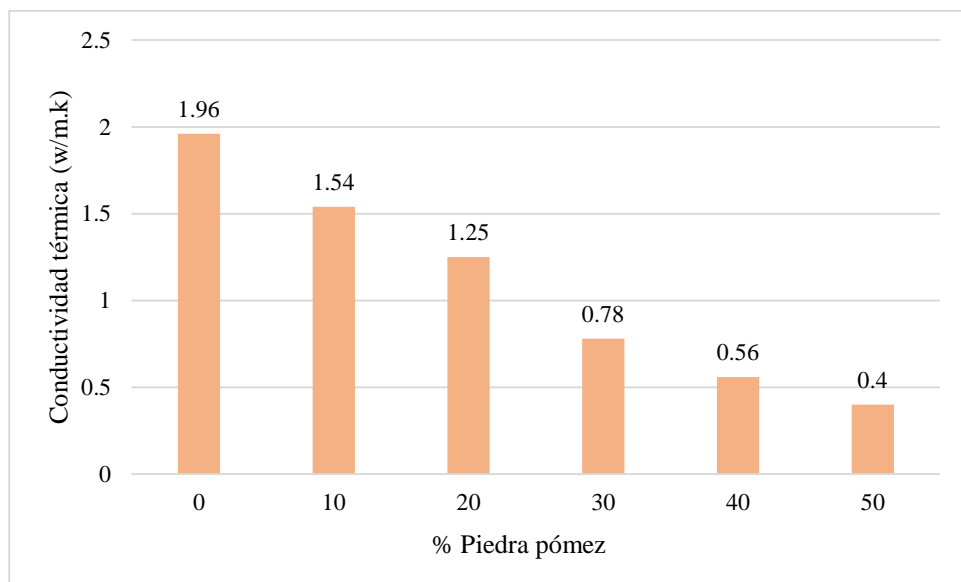


Figura 7: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7: Piedra pómez vs Conductividad térmica, se determina mediante el gráfico que por cada porcentaje creciente de piedra pómez la conductividad térmica tiende a disminuir, ya que la piedra pómez es buen aislante por su composición geológica.

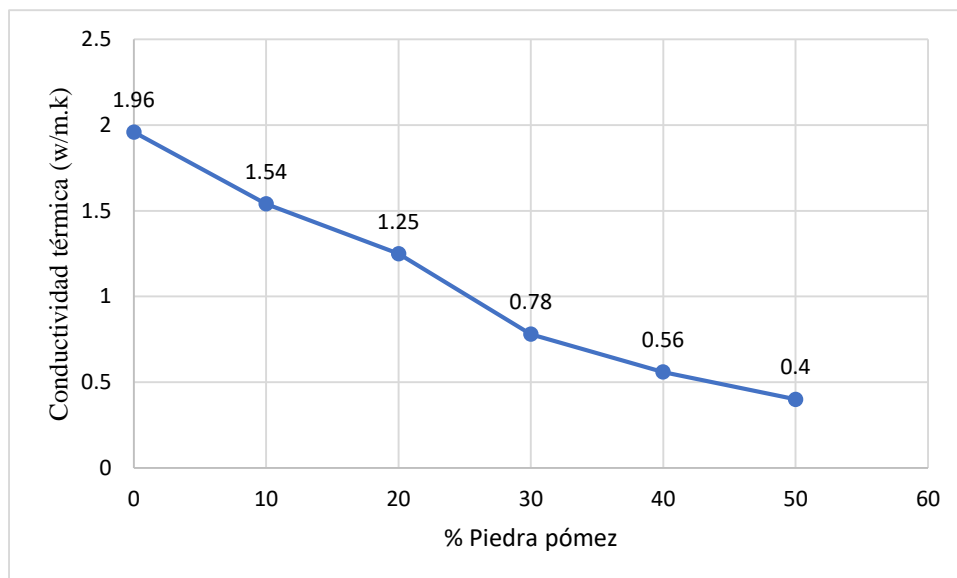


Figura 8: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia

Guzman et al, (2020).

Este estudio analizó los resultados de 4 muestras con distintos porcentajes de Piedra pómez.

- Muestra 1: 20%
- Muestra 2: 30%
- Muestra 3: 35%
- Muestra 4: 40%

Previo a la realización de la prueba, el equipo “Kd2 Pro” se le debe de realizar una calibración, para esto hay que esperar 15 min para que el equipo registre la temperatura del lugar.

La muestra 1, 2 y 3 tenían un peso de 1.77kg y para la muestra 4 un peso de 1.79kg. El volumen para todas las muestras fue de 1 m³, ver Tabla 22, Figura 9 y 10.

Tabla 22: Ensayo 2: Conductividad térmica del concreto

Conductividad térmica (w/mk)	% Piedra Pómez
0.461	20
0.42	30
0.403	35
0.391	40

Fuente: Guzman et al, (2020).

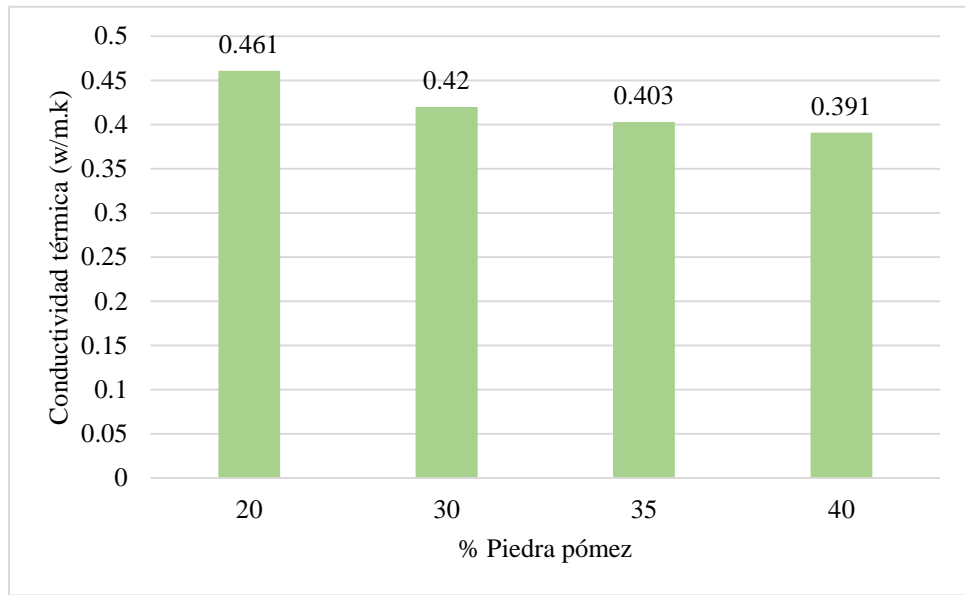


Figura 9: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia

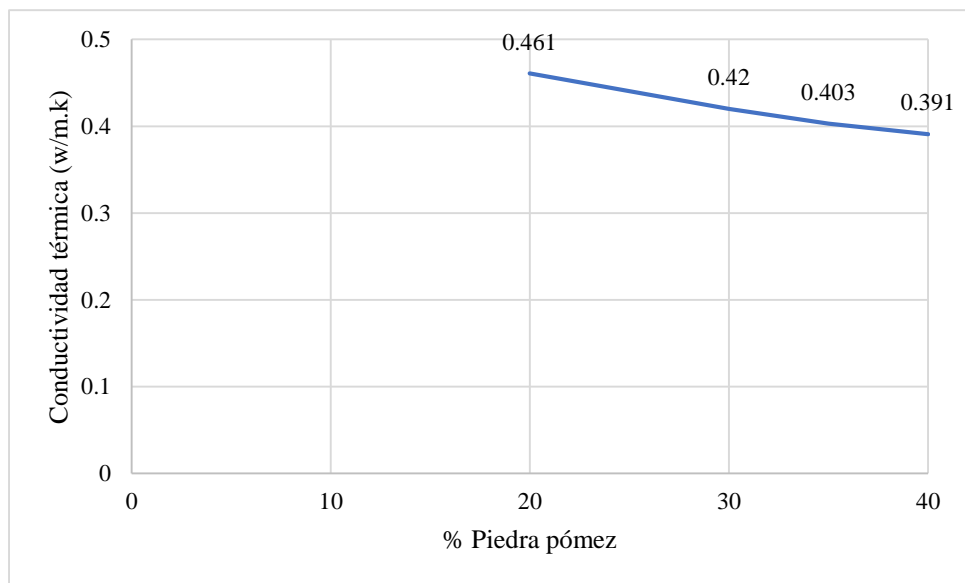


Figura 10: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia

Abdulkarem et al, (2019).

En este estudio se analizó 4 muestras con diferentes porcentajes de piedra pómez:

- Muestra 1: 0%
- Muestra 2: 5%

- Muestra 3: 10%
- Muestra 4: 15%

Se utilizó un multímetro de alta resolución (M890G) para medir la temperatura y las diferencias de corriente y voltaje. Todas las muestras poseían una relación a/c de 0.5.

Las piedras pómez se cortaron y trituraron en diferentes tamaños y se trataron con hipoclorito de sodio (NaOCl), ver Tabla 23, Figura 11 y 12.

Tabla 23: Ensayo 3: Conductividad térmica del concreto

Conductividad térmica (w/mk)	% Piedra Pómez
0.69	0%
0.55	5%
0.45	10%
0.32	15%

Fuente: Abdulkarem et al, (2019).

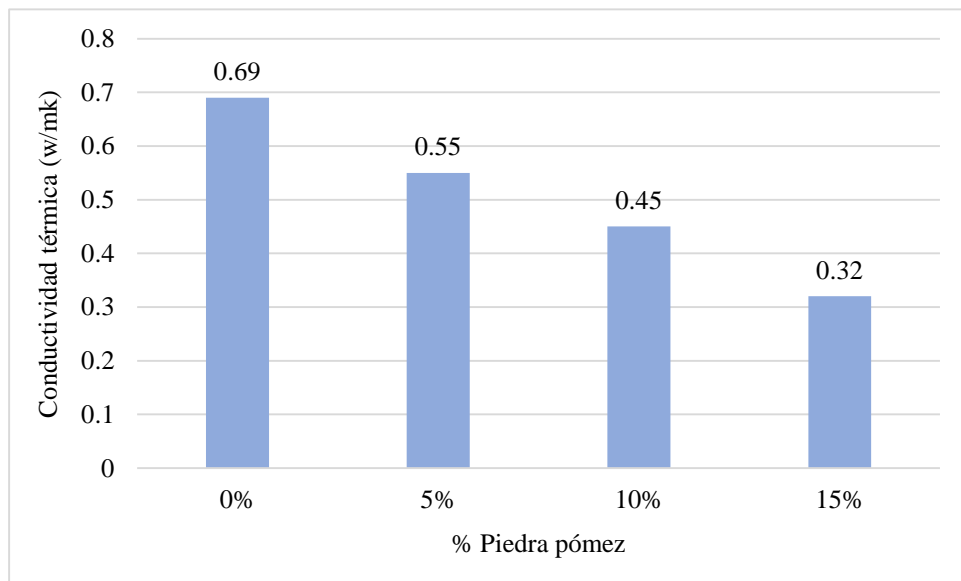


Figura 11: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia

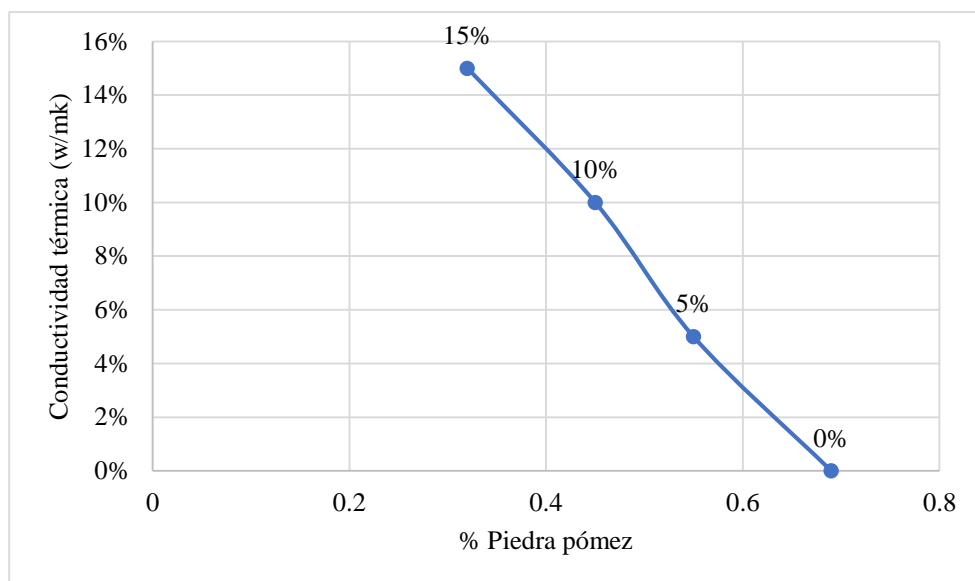


Figura 12: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Conductividad térmica (w/mk)

Fuente: Elaboración propia.

Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.

Baquero et al, (2019).

Los diseños de mezcla fueron desarrollados con arcilla expandida y piedra pómez totalmente saturados y sin saturar. La arcilla expandida se trabajó con un tamaño nominal de 6 -12 mm y la piedra pómez corresponde a un tamaño nominal de 4mm.

La mezcla consistió en cemento, agua, piedra pómez y arcilla expandida, con una relación A/C de 0.48. ver Tabla 24, 25, y Figura 13

Tabla 24: Diseño de mezcla concreto ligero

Distribución volumétrica	
Relación Agua/Cemento	0.48
Volumen de pasta (%)	40.00%
Volumen de cemento (%)	16.89%
Volumen de agua (%)	23.11%
Volumen de arlita (%)	40.00%
Volumen de pómez (%)	17.00%
Volumen de aire (%)	3.00%

Fuente: Baquero et al, (2019).

Se elaboraron viguetas de sección transversal cuadrada de 15cm de lado y una longitud de 50cm, con las cuales se evaluaron las propiedades mecánicas.

Tabla 25: Ensayo 1: Resistencia a la flexión del concreto

% Piedra pómez	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
17	26
17	28
17	33

Fuente: Baquero et al, (2019).

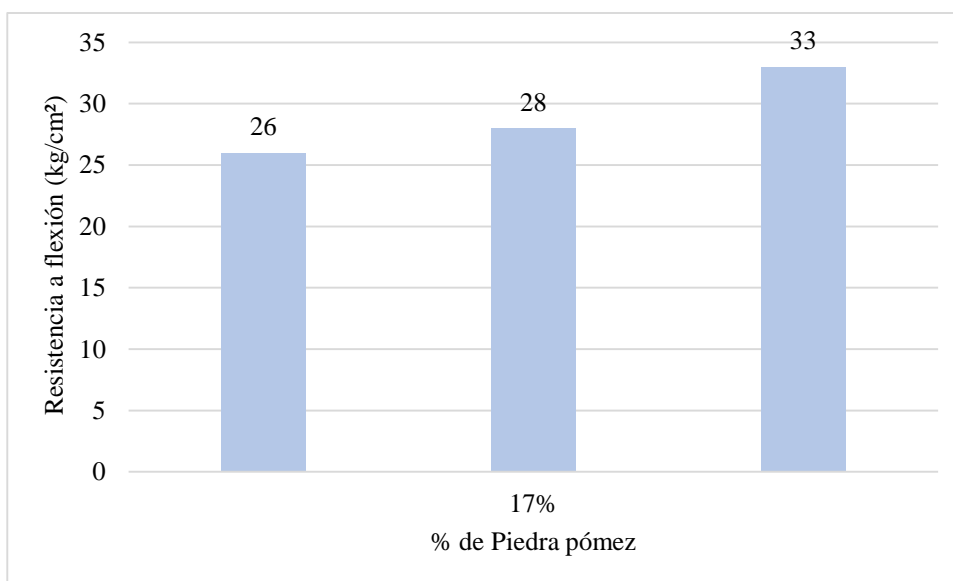


Figura 13: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

Zeyad et al, (2019).

Los materiales utilizados en la mezcla de concreto fueron: Piedra pómez volcánica (VPP), cemento, agregados, fibra de polipropileno. Donde se investigó el reemplazo parcial de la piedra pómez volcánica (VPP) para su uso como material cementante, se preparó el concreto de alta resistencia (HSC) con un reemplazo de (10% y 20%) de piedra pómez, ver Tabla 26, Figura 14 y 15.

Tabla 26: Ensayo 2: Resistencia a la flexión del concreto

% Piedra pómez	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0	97
10	96
20	76

Fuente: Zeyad et al, (2019).

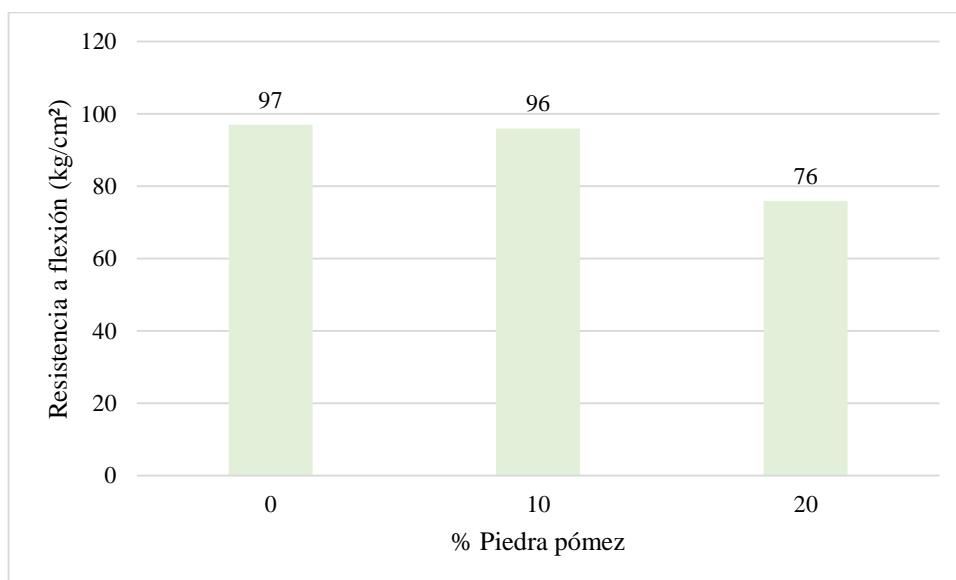


Figura 14: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

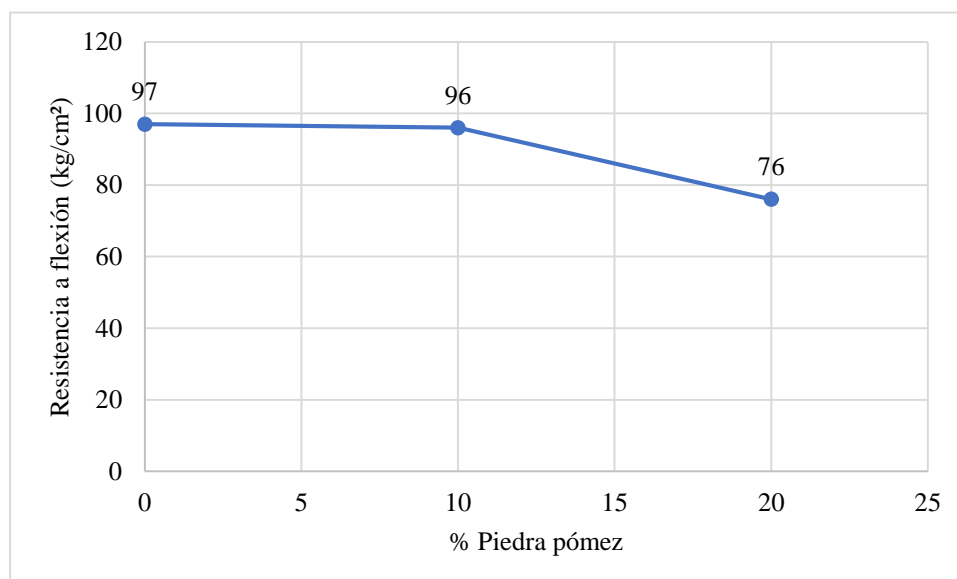


Figura 15: Segundo gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

Hiroki & Hariyadi (2015)

Los materiales utilizados para la realización del concreto poroso fueron: cemento Portland ordinario, agregado grueso normal, piedra pómez volcánica, agua y plastificante. Se utilizó piedra caliza triturada de varios tamaños de áridos gruesos de 5 -20 mm y también piedra pómez volcánica del mismo tamaño para la sustitución de áridos parciales. Se evaluó el efecto de la proporción variable de piedra pómez volcánica como reemplazo de agregados, realizando el reemplazo con un (50% y 100%) de piedra pómez en la mezcla del concreto. Se realizaron el análisis de resultados a 3 mezclas:

Mezcla 1: 0% de piedra pómez, con una densidad de: 2039.12 kg/m³ .

Mezcla 2: 50% de piedra pómez, con una densidad de :1852.03 kg/m³

Mezcla 3 :100% de piedra pómez, con una densidad de :1560.89 kg/m³

Ver Tabla 27, Figura 16 y 17.

Tabla 27: Ensayo 3: Resistencia a la flexión del concreto

% Piedra pómez	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0	27
50	24
100	18

Fuente: Hariyadi et al, (2015).

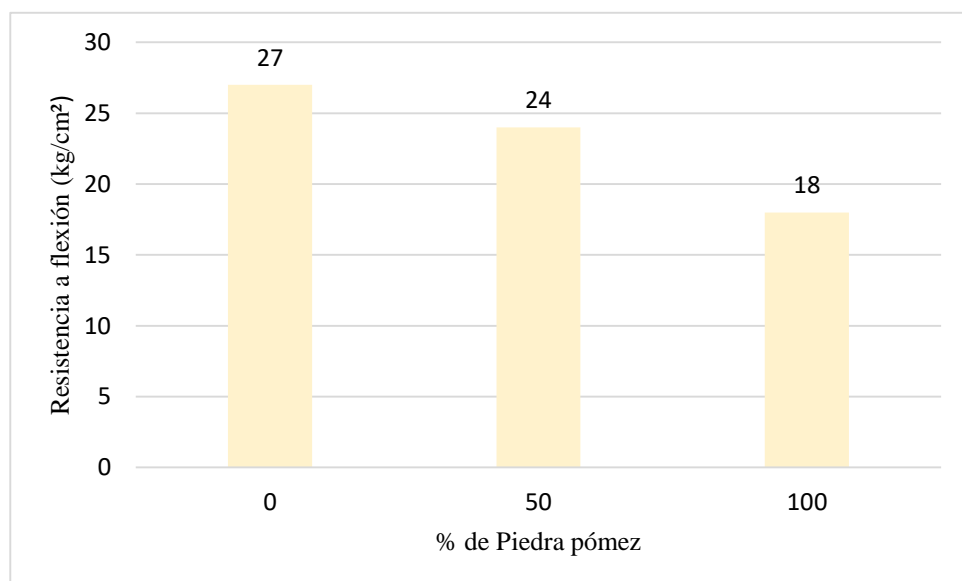


Figura 16: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

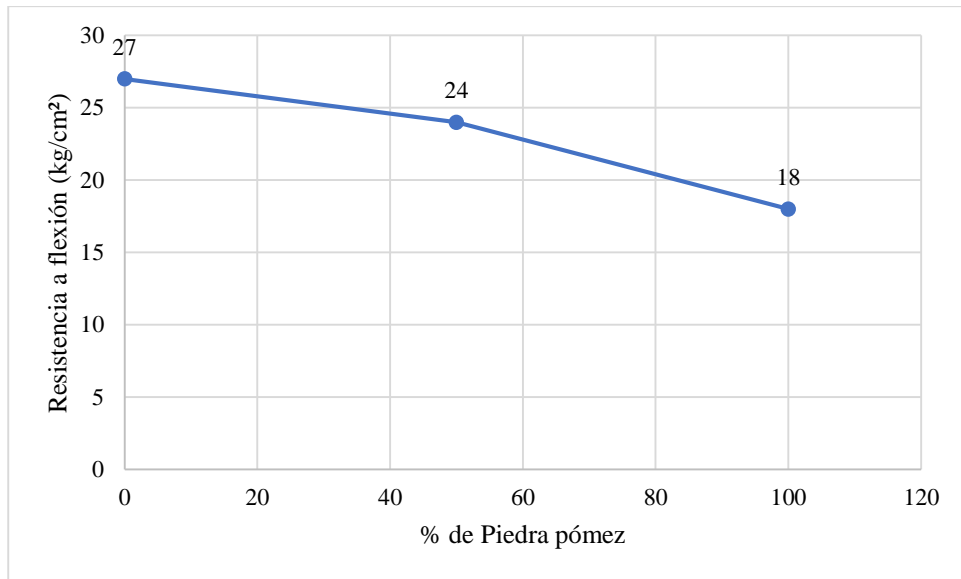


Figura 17: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (%) vs Resistencia a la flexión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

Hernández et al, (2015).

Para el desarrollo de la investigación se usó los siguientes materiales: Cemento portland Cemex tipo, Arena (reemplazando la arena por roca triturada pómez tamaño arena), piedra y agua.

Se elaboro probetas cilíndricas cuyas dimensiones están especificadas en las normas ASTM C - 42 y ASTM C - 39, en estas normas también se incluyen consideraciones para los ensayos a la compresión sobre probetas de concreto. Las dimensiones para esta investigación fueron de 10cm de diámetro y 20cm de altura.

Después de establecidas las características de la piedra pómez triturada se elaboraron las probetas de concreto que deben cumplir con una resistencia de 214 kg/cm² con arena, para luego elaborar las probetas con el reemplazo de la arena por la piedra pómez triturada (25% y 65%), ver Tabla 28, Figura 18 y 19.

Tabla 28: Ensayo 1: Resistencia a la compresión del concreto

Piedra pómez (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
3.31	173
3.61	190
3.74	226

Fuente: Hernández et al, (2015)

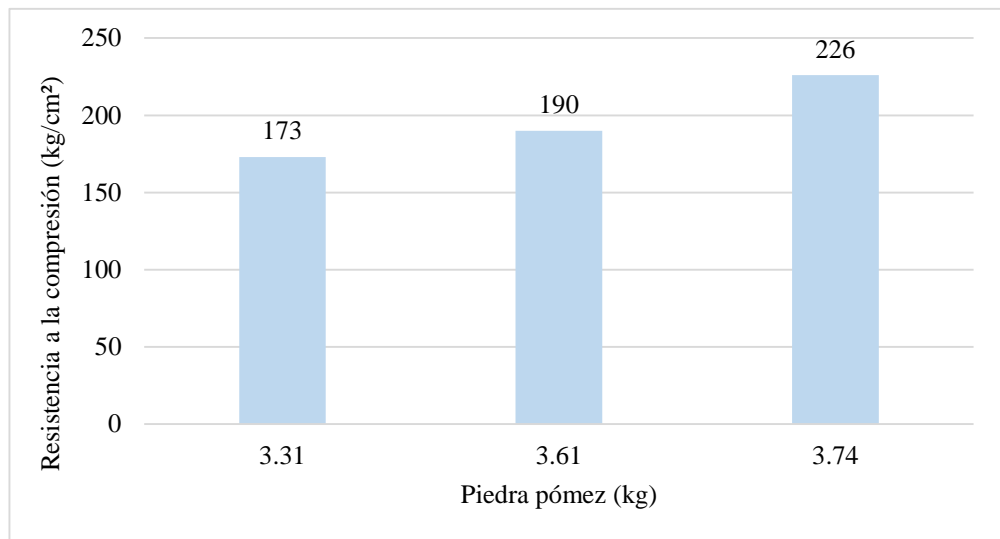


Figura 18: Primer gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

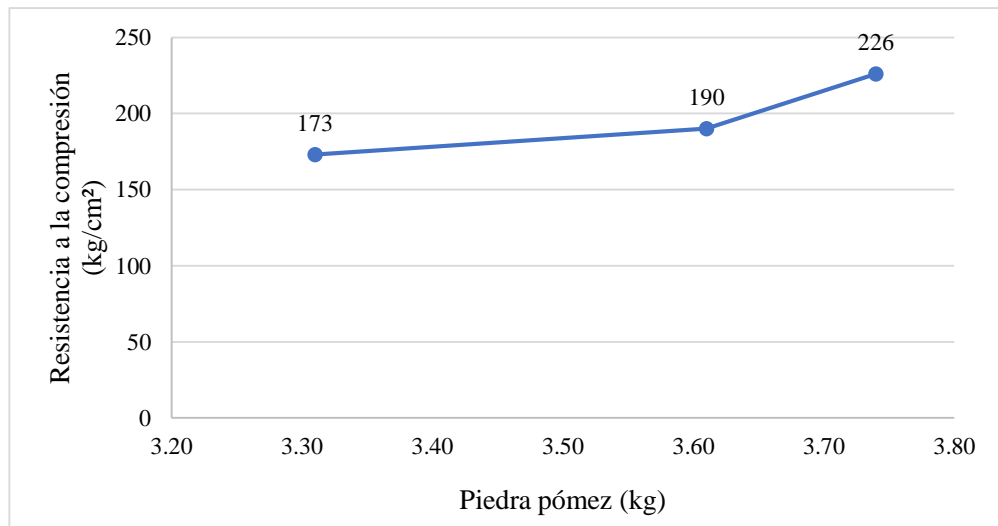


Figura 19: Segundo gráfico del ensayo 1: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

Palomino, (2016).

Se realiza los diseños de mezcla utilizando los siguientes materiales: ceniza de cascarilla de arroz, poliestireno expandido, cemento Gu, piedra de 12 mm, arena fina del rio Boliche, piedra pómez y aditivo Sika N115.

Diseño de mezcla realizados:

Poliestireno expandido, se colocó los materiales en la concretera eléctrica de la siguiente forma:

- Piedra de 12mm
- Arena rio Boliche
- Cemento
- Agua
- Poliestireno expandido
- Piedra pómez
- Aditivo Sika.

Ceniza de cascarilla de arroz, se colocó los materiales en la concretera eléctrica de la siguiente forma:

- Piedra de 12 mm
- Arena rio Boliche
- Cemento
- Agua
- Ceniza de cascarilla de arroz
- Piedra pómez
- Aditivo Sika.

Polipropileno, se colocó los materiales en la concretera eléctrica de la siguiente forma:

- Piedra de 12mm
- Arena rio Boliche
- Cemento
- Agua
- Polipropileno
- Piedra pómez
- Aditivo Sika.

Con una relación a/c de 0.46. El uso de la piedra pómez en cada diseño de mezcla se analizó respecto al peso que ocupa en la mezcla, ver Tabla 29 y Figura 20.

Tabla 29: Ensayo 2: Resistencia a la compresión del concreto

Piedra Pómez (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
62	298
66	293
66	289

Fuente: Palomino, (2016).

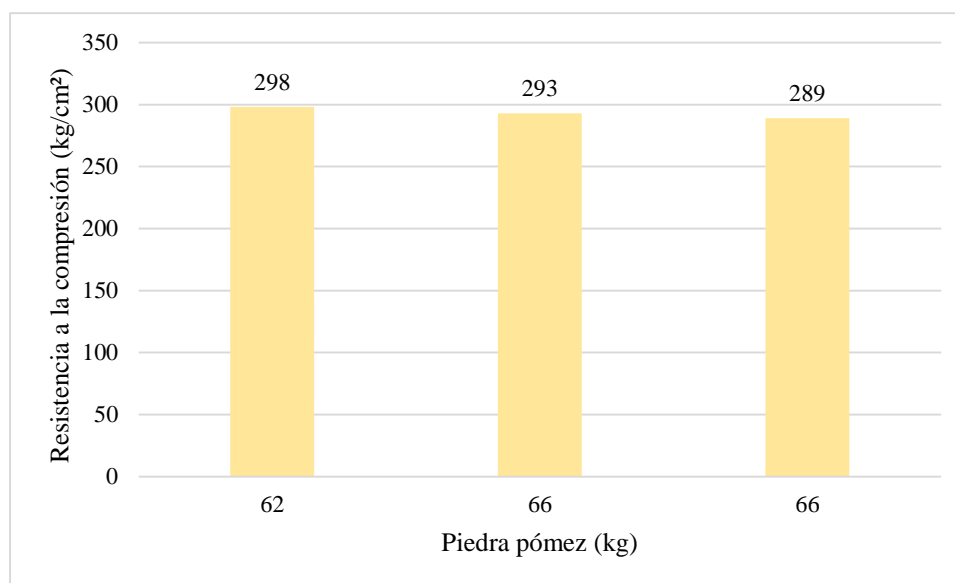


Figura 20: Primer gráfico del ensayo 2: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

Karatas et al, (2017).

Se realizó la preparación de morteros autocompactantes (SCM), elaborados a partir de polvo de piedra pómez (GPP) como aditivo mineral.

En la elaboración de la mezcla se preparó utilizando el 5%, 10% y 15% de polvo de piedra pómez. Se elaboraron 72 probetas de dimensiones: 40 x 40 x 160 mm y se curaron a la edad de 7, 28 y 90 días.

Se utilizó un cemento Portland ordinario, la cantidad de piedra pómez triturada que pasa a través del tamiz de 0.125 mm de tamaño, el tamaño máximo de la partícula de arena fue de 4 mm, se usó también un superplastificante de tipo polímero (SP).

El uso de la piedra pómez en cada diseño de mezcla se analizó respecto al peso que ocupa en la mezcla del mortero al realizar los reemplazos para un 5%, 10%

y 15% de polvo de piedra pómez, que será comparado con la mezcla de control. Mezcla de control: 0 kg de polvo de piedra pómez, (0% de polvo de piedra pómez) Mezcla de 1: 0.0325 kg de polvo de piedra pómez, (5% de polvo de piedra pómez) Mezcla de 2: 0.065 kg de polvo de piedra pómez, (10% de polvo de piedra pómez) Mezcla de 3: 0.0975 kg de polvo de piedra pómez, (15% de polvo de piedra pómez), ver Tabla 30, Figura 21 y 22.

Tabla 30: Ensayo 3: Resistencia a la compresión del concreto

Piedra Pómez kg	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0	175
0.0325	178
0.065	183
0.0975	185

Fuente: Karatas et al, (2017).

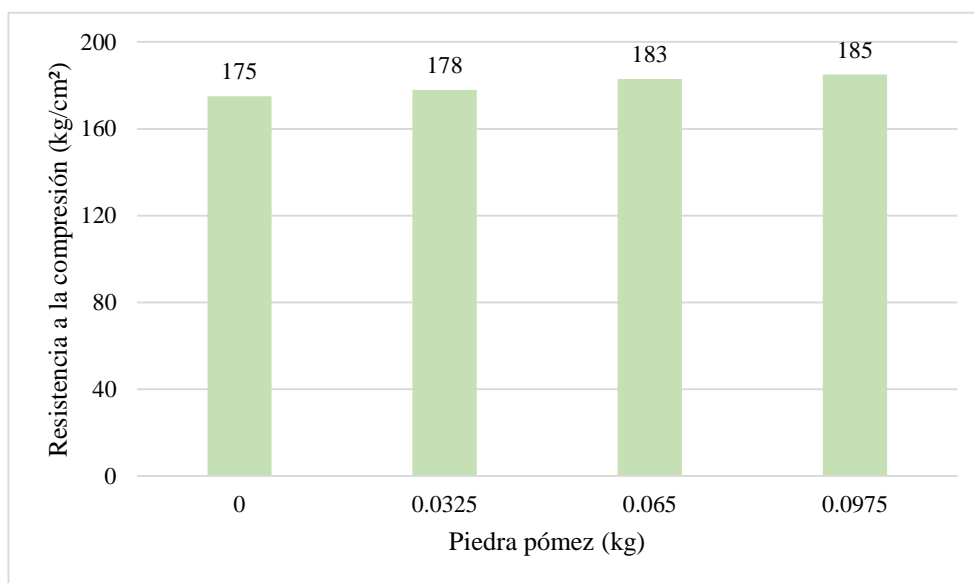


Figura 21: Primer gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

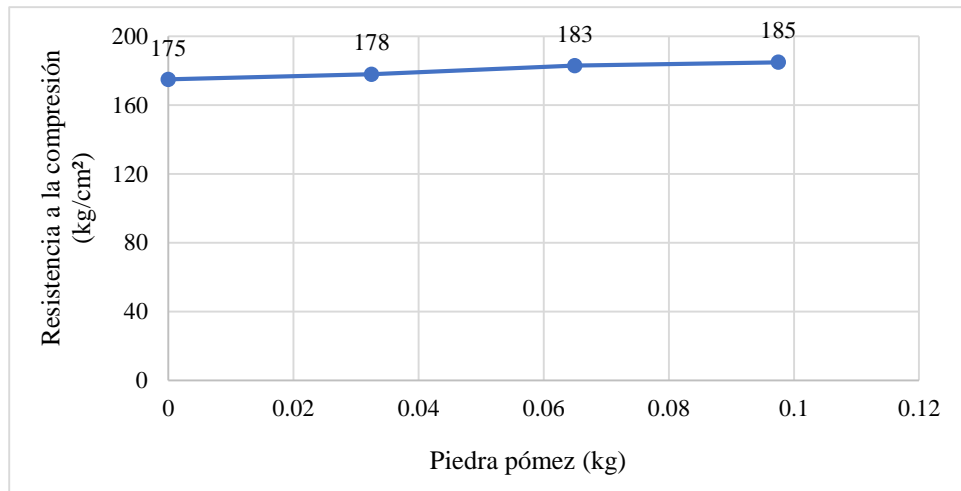


Figura 22: Segundo gráfico del ensayo 3: Piedra pómez (kg) vs Resistencia a la compresión (kg/cm²)

Fuente: Elaboración propia

5.2 Contrastación de hipótesis

HIPÓTESIS 1: Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez se reduce la densidad del concreto ligero estructural.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez no se reduce la densidad del concreto ligero estructural.

H1: Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez se reduce la densidad del concreto ligero estructural.

- Observaciones:

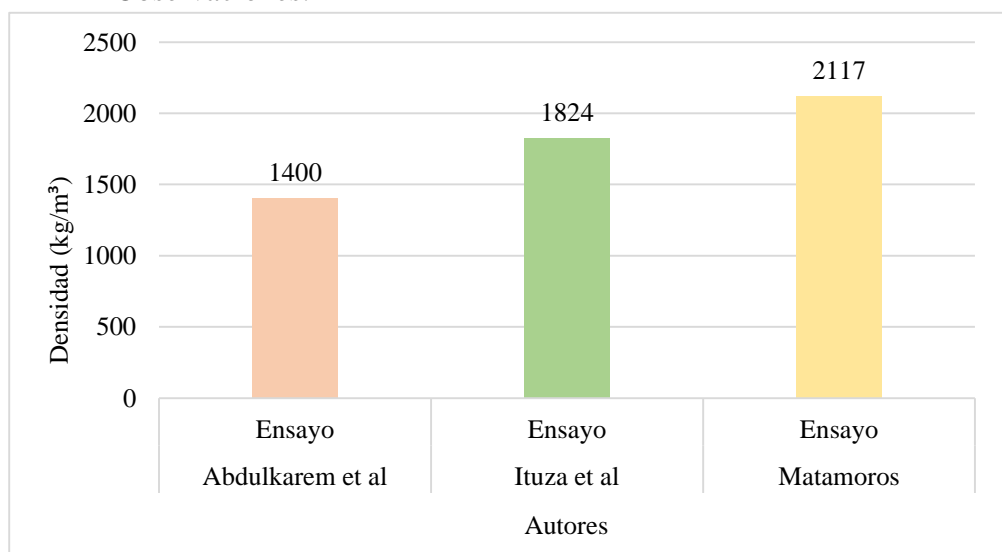


Figura 23: Resultados de densidad para los diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

Según el autor “Matamoros”, confirma que empleando la piedra pómez como agregado grueso en el diseño de la mezcla de 28 días para un concreto ligero estructural, su cantidad optima es de 4.875 kg con una densidad de 2117 kg/m³, encontrándose dentro del rango de densidad de concreto ligero como se muestra en la Figura 1.

Según los autores “Ituza y Ticona” empleando la piedra pómez como agregado grueso en el diseño de la mezcla de concreto ligero estructural con su cantidad optima del agregado fue de 3.00 kg con una densidad de 1824 kg/m³, resultando en el rango del concreto ligero como se muestra en la Figura 3.

Según los autores “Abdulkarem et al” empleando la piedra pómez como agregado grueso en el diseño de la mezcla de concreto ligero estructural con su cantidad optima del agregado fue de 0.113 kg con una densidad de 1400 kg/m³, resultando en el rango del concreto ligero como se muestra en la Figura 5.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) que demuestra, que el uso de piedra pómez reduce la densidad del concreto ligero estructural.

HIPÓTESIS 2: Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez se reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el porcentaje de piedra pómez no se reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural.

H1: Al determinar el porcentaje de piedra pómez se reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural.

- Observación:

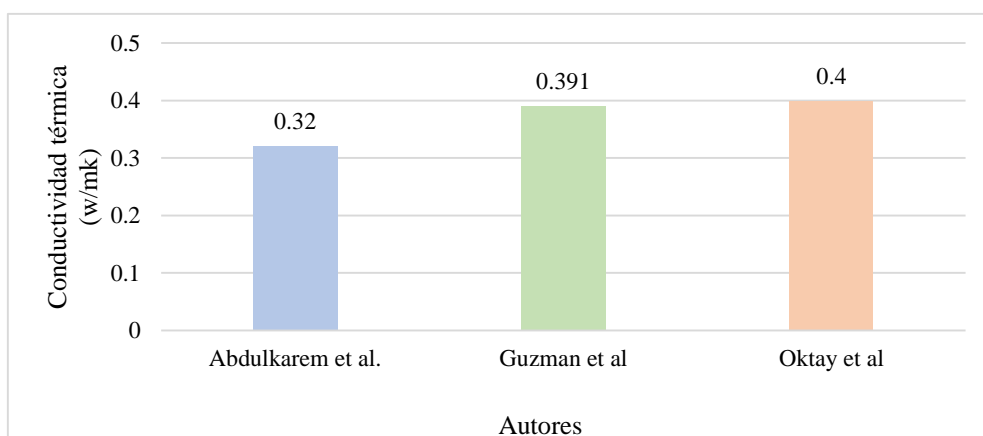


Figura 24: Resultados de conductividad térmica para los diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

Según los autores “Abdulkarem et al; “a partir de los resultados de la prueba, se determinó el porcentaje óptimo de 15% y con un resultado de con una conductividad térmica de 0.32 w/m.k, reduciendo el 54% la conductividad térmica como se muestra en la Figura 11.

Según los autores Guzmán et al, registran una tendencia con altos y bajos en las mediciones, pero manteniendo una línea descendente. Debido a la presencia en mayores proporciones de ceniza volcánica y cal, determinando que con un 40% de piedra pómez su conductividad térmica fue de 0.391 w/m.k. reduciendo su conductividad en 22% como se muestra en la Figura 9.

Según los autores “Oktay et al.” se realizó el estudio para poder evaluar las propiedades del concreto producido con diferentes proporciones del superplastificante, piedra de aceituna y piedra pómez como reemplazos parciales de arena, donde el porcentaje de piedra pómez fue de 50% sustituido como agregado grueso resultando con una conductividad térmica de 0.4 w/m.k. Donde los concretos tratados con el superplastificante conducen a un ligero aumento de la conductividad térmica, caso contrario cuando no se trata, el uso piedra de aceitunas y piedra pómez disminuyó la conductividad térmica en 82%. como se muestra en la Figura 7.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de piedra pómez reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural.

HIPÓTESIS 3: Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez mejora la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de piedra pómez no mejora la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.

H1: El porcentaje de piedra pómez mejora la resistencia a la flexión concreto ligero estructural.

• Observación:

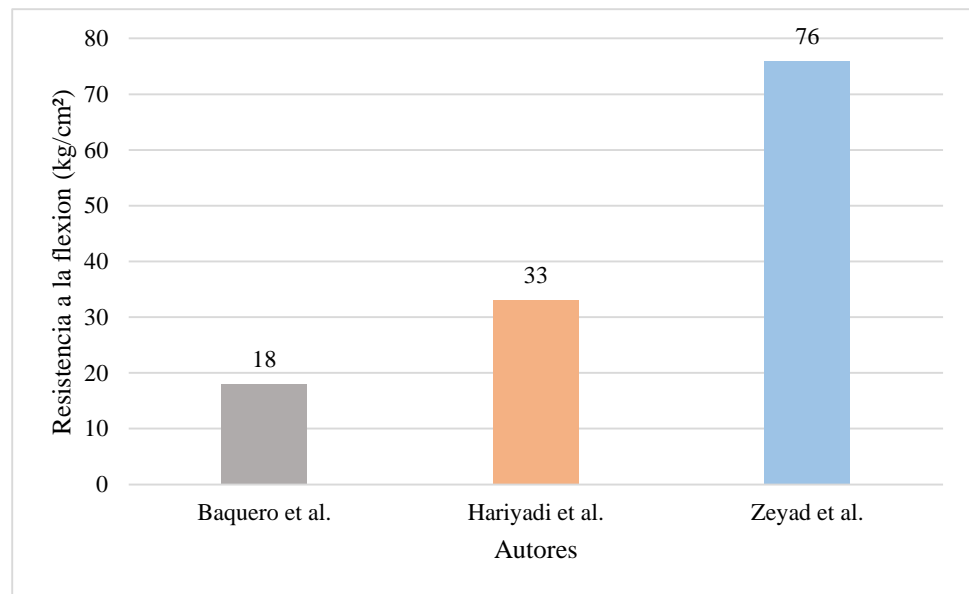


Figura 25: Resultados de resistencia a la flexión para los diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

Según los autores “Hariyadi et al” a partir de los resultados muestra un óptimo porcentaje de piedra pómez del 50% resultando una resistencia a la flexión de 24 kg/cm², según como muestra la Figura 16.

Según los autores “Baquero et al.” a partir de los resultados muestra un aumento en la resistencia a la flexión con la adición de fibras y humo de sílice. Teniendo como agregado a la piedra pómez de 17% y resultando con una resistencia a la flexión de 33 kg/cm² luego al adicionar las fibras y humo de sílice. Demostrando así el potencial que puede tener el concreto ligero como agregados de arcilla expandida y piedra pómez en la aplicación como material de construcción. como se muestra en la Figura 13.

Según los autores “Zeyad et al.” a partir de los resultados se obtuvieron valores de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón ligero estructural apropiadas (densidad fresca, densidad endurecida, resistencia a la compresión, módulo de rotura). Se observa que su porcentaje óptimo fue de 20 % los resultados con una resistencia a la flexión de 76 kg/cm². como se muestra en la Figura 14.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de piedra pómez mejora el módulo de rotura del concreto ligero estructural.

HIPOTESIS 4: Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez se mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez no mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural grueso.

- Observación:

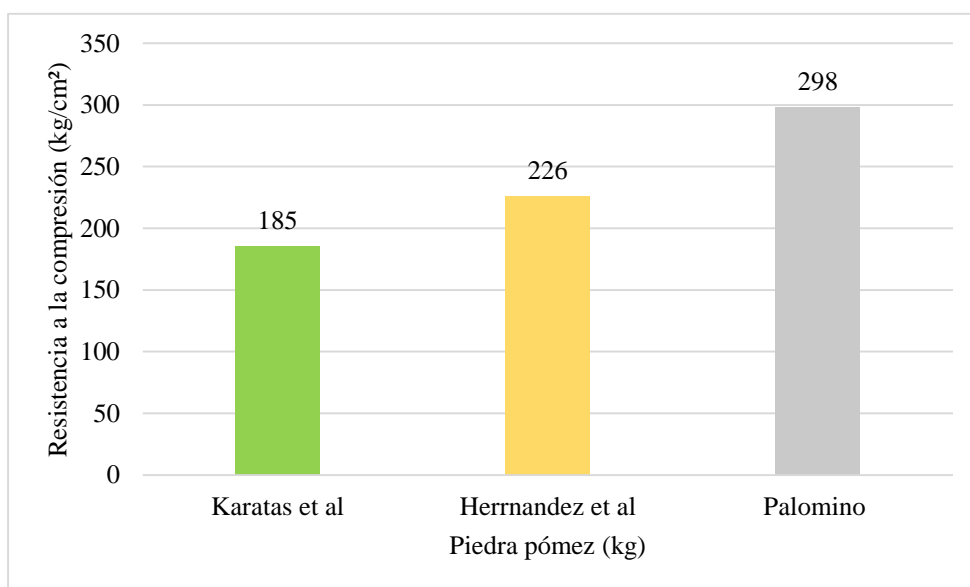


Figura 26: Resultados de resistencia a la compresión para los diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

Según el autor “Hernandez et al.” se confirma que empleando la piedra pómez como reemplazo del agregado grueso en el diseño de mezcla del concreto ligero estructural. Con una dosificación de piedra pómez de 3.74 kg obteniendo una resistencia a la compresión de 226 kg/cm², tal como muestra la Figura 18.

Según el autor “Karatas et al “determina que su dosificación óptima es de 0.0975 kg resultando una resistencia a la compresión de 85 kg/cm, como indica la Figura 21.

Según el autor “Palomino.” se logró determinar la óptima dosificación de la piedra pómez de 62 kg resultando una resistencia a la compresión de 298 kg/cm² del concreto ligero, como indica la Figura 20.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la aplicación de piedra pómez mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

DISCUSIÓN

Según los resultados de las óptimas dosificaciones de piedra pómez para reducir la densidad del concreto ligero estructural, se pudo contrastar la hipótesis 1 ya aceptada, con respecto a los autores Abdulkarem et al, Ituza et al y Matamoros. En Figura 23 se muestra la densidad del concreto ligero estructural a los 28 días, en el artículo de Ituza et al. la densidad es de 1824 kg/m³ a 2080 kg/m³ donde su óptima dosificación llegó a ser el molde 3 por tener menor densidad con una dosificación óptima de 1.19 kg, demuestra que a mayor cantidad de piedra pómez es menor la densidad, el mismo comportamiento se vio reflejado en los autores Abdulkarem et al. y Matamoros con resultados de una dosificación de 0.113 kg y con una densidad de 1400 kg/m³ y de 4.875 kg con la densidad de 2117 kg/m³.

Para la hipótesis 2 se contrastó artículos y tesis de los autores Abdulkarem et al, Guzman et al y Oktay et al, como se muestra en la Figura 24 el porcentaje óptimo de la piedra pómez reduce la conductividad térmica, por lo tanto, se acepta la hipótesis ya que los resultados de Abdulkarem et al. con un porcentaje del 15% de piedra pómez llega a alcanzar una conductividad térmica de 0.32 (w/mk). Mientras más porcentaje de piedra pómez se aplica la conductividad térmica tiende a disminuir.

Para contrastar la hipótesis 3 ya aceptada que es determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural, según los autores Baquero et al, Zeyad et al, Hariyadi et al, se llega a determinar que el óptimo porcentaje de piedra pómez es 17%, 20%, 50 %, con una resistencia a la flexión de 33 kg/cm², 76 kg/cm² y 24 kg/cm² respectivamente, como lo indica la Figura 25.

Para la hipótesis 4, se determina la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural, según los autores Karatas et al, Hernández et al y Palomino, se determinó una resistencia a la compresión de 298 (kg/cm²) con una dosificación óptima de 62 kg como lo muestra la Figura 26, por lo tanto, se acepta dicha hipótesis.

CONCLUSIONES

1. Al reemplazar la piedra pómez como agregado grueso mejoran las propiedades mecánicas del concreto ligero estructural, obteniendo porcentajes óptimos de 17% 20% y 50% para una resistencia a la flexión de 33kg/cm², 76 kg/cm² y 24 kg/cm² y una resistencia a la compresión de 185 kg/cm², 226 kg/cm² y 298 kg/cm² demostrado conforme va aumentando la dosificación el diseño mejora, llega a disminuir la conductividad térmica a 0.32 w/mk, 0.39 w/mk y 0.4 w/mk, debido a su alta porosidad y baja densidad teniendo como resultado 1400 kg/m³, 1824 kg/m³ y 2117 kg/m³. Se concluye que al tener un óptimo porcentaje y dosificación la piedra pómez es un buen reemplazo de agregado grueso en los diseños de mezclas de un concreto ligero.
2. De acuerdo con los resultados de la Figura 23, se alcanzó una óptima dosificación para reducir la densidad del concreto ligero estructural, teniendo una densidad de 1400 kg/m³ a 2117 kg/m³, siendo la piedra pómez una opción como reemplazo al agregado grueso por su alto nivel de porosidad.
3. El uso de piedra pómez como reemplazo del agregado grueso reduce la conductividad térmica del concreto ligero estructural con un óptimo porcentaje de 15% a 40% de dicho agregado tal como se muestra en la Figura 24.
4. Como se muestra en la Figura 25, el uso de piedra pómez como reemplazo del agregado grueso influye en la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural, con un óptimo porcentaje de 17% a 50%.
5. Como se muestra en la Figura 26, se obtiene la óptima dosificación de piedra pómez con una resistencia de 185 kg/cm² a 298 kg/cm², de esta forma se comprueba su influencia como reemplazo del agregado grueso para un concreto ligero estructural.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar como reemplazo del agregado grueso la piedra pómez, reduce la densidad del concreto ya que es una roca con alta porosidad y con propiedades puzolánicas, se debe realizar un control de calidad a la piedra pómez, ya que por ser un agregado natural necesita un tratamiento para obtener mayor certeza en los resultados y poder utilizarla en el ensayo de densidad del concreto en estado fresco.
2. Investigar la aplicación de la piedra pómez para conocer su comportamiento respecto a la conductividad térmica, ya que se ve afectada por su nivel de porosidad y contenido de vacíos, reduciendo drásticamente su capacidad de transmitir energía y su difusividad térmica al estar expuesto a una fuente de calor.
3. Aplicar la piedra pómez como reemplazo del agregado grueso, presenta mejoras en su resistencia a la flexión, de esta manera su uso en diversos elementos estructurales contribuiría en la reducción de la carga muerta sin tener que alterar las dimensiones propuestas.
4. Para una mejor resistencia a la compresión se debe de tener en cuenta un óptimo porcentaje de la piedra pómez, ya que al exceder el diseño de mezcla se vería afectado y así disminuyendo gradualmente su capacidad de soportar grandes cargas.
5. Se recomienda a futuras investigaciones ligadas al tema de fondo de la presente tesis, consideren en enfocar la investigación a la resistividad térmica y agregar diferentes tipos de aditivos para un desarrollo más amplio y tecnológico, de tal manera que permita una actualización y capacitación del entorno ligado a la industria de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulkarem, M., & Rasool, D. &. (2019). *Utilization of Olive and Pumice Stones to Improve the Thermal Properties of Cement Mortar*. Obtenido de <https://ijneam.unimap.edu.my/index.php/vol-13-no-1-jan-2020>.
- Alayo, A. E. (2019). *Influencia del porcentaje de piedra pómez sobre la resistencia a la compresión y peso unitario en un concreto estructural para pórticos*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23377>:
<https://hdl.handle.net/11537/23377>
- Baquero Sanabria , B. A., Guiza Galeano, R. A., & Garcia Marin , F. M. (2019). *Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pomez como agregados en la produccion de concretos ligeros* . Obtenido de redaly.org:
<https://www.redalyc.org/journal/852/85263724005/>
- Barreda Arias, W. H., & Cahuata Mercado, F. A. (2018). *Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de Concreto Armado*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7051>
- Belito Huamani, G. P. (2018). *Influencia de agregados de diferentes procedencias y diseño de mezcla sobre la resistencia del concreto*. Obtenido de Universidad Nacional de Huancavelica:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNH_bd4720d19624eaf652de395cf1087c6f/Details
- Belito Huamani, G., & Paucar Chanca, F. (2018). *Influencia de agregados de diferentes procedencias y diseño de mezcla sobre la resistencia del concreto*. Obtenido de universidad nacional de huancavelica:
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1581>
- Cabezas, G. M. (2019). *Diseño de una losa de hormigón liviano de poliestireno expandido reciclado modificado*. Obtenido de Revista Ingeniería:
<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v3i6.37>
- CARLOS, V. M. (2008). *UNIVERSIDAD RICARDO PALMA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de CORRELACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIAS EN PROBETAS DE CONCRETO ESTÁNDAR DE 6" x 12" y 4" x 8" CON CEMENTO PÓRTLAND TIPO I (SOL) Y CEMENTO

- PÓRTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP (ATLAS) CON PIEDRA SERIE N° 57:
<https://docplayer.es/96982469-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria-escuela-academico-profesional-de-ingenieria-civil.html>
- Castillo, F. A. (2016). *Tecnología del Concreto* . Obtenido de Tecnología del Concreto:
<https://aportesingecivil.com/tecnologia-del-concreto-flavio-abanto-castillo/>
- Comité ACI. (2015). Requisitos del Código de construcción para el concreto estructural.
Norma ACI 318, 31-33.
- Concreto, D. d. (2006). *Samuel Laura Huanca* . Obtenido de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/09/Dise%C3%B1o-de-Mezclas-de-Concreto-Ing.-Samuel-Laura-Huanca.pdf>
- DANIELA, Á. M. (2017). Obtenido de AGREGADO, EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL:
<https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/5416/EVALUACION%20DE%20LA%20DENSIDAD%20Y%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20COMPRESION%20DE%20BLOQUES%20DE%20CONCRETO%20CON%20SUSTITUCION%20DEL%20AGREGADO.pdf?sequence=2>
- González Cruz, L. F. (s.f.). *Simulación numérica de un proceso de isomerización de parafinas C5 y C6 para la obtención de gasolinas de alto octanaje*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/11540>
- González P, G. (2013). *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1889-836X2013000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Guzmán Reyes, A. R., & Zambrano Gómez, M. V. (2015). *Análisis de calidad físico y mecánico de los agregados pétreos para concreto, de los principales bancos de materiales de la Zona Oriental de El Salvo*. Obtenido de Análisis de calidad físico y mecánico de los agregados pétreos para concreto, de los principales bancos de materiales de la Zona Oriental de El Salvo:
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6274/>
- Guzman, J., Navarro, J., & Garcia, L. &. (2020). *"Comportamiento térmico en mezclas de cal hidratada, ceniza* . Obtenido de <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/>.
- Hernandez Medina , J. A., Osorio Vagner , S. S., & Cogollo Diaz, C. A. (2015). *Caracterizacion de agregado fino tipo piedra pomez para su uso en concretos*

- estructurales* . Obtenido de Universidad La Gran Colombia :
<http://hdl.handle.net/11396/3530>
- Hiroki, H. y. (2015). *ScienceDirect*. Obtenido de Enhancing the Performance of Porous Concrete by Utilizing the Pumice Aggregate:
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.116>
- INEI. (2017). *Consumo interno de cemento aumentó 4.07% y acumuló 6 meses de crecimiento consecutivo*. Lima: Nota de prensa.
- Ituza, M. &. (2019). *PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO DE BAJA DENSIDAD CON AGREGADOS NATURALES E INDUSTRIALES, APLICADA EN EL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN SOBRE UN SUELO CON BAJA CAPACIDAD PORTANTE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA*. Obtenido de
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2973>.
- Jordan Llanos, Y. A. (2017). *Universidad Privada de Tacna*. Obtenido de Influencia del control interno: <https://repositorio.upt.edu.pe/>
- Karatas, M., Benli, A., & Ergin, A. (2017). *Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self - compacting mortars* . Obtenido de ELSEVIER: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.220>
- Matamoros. (2019). *“INFLUENCIA DE PIEDRA PÓMEZ EN LA ELABORACIÓN DE UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL DE F’C = 175 KG/CM² UTILIZANDO MATERIAL DE REGIÓN DE HUANCVELICA”*. Obtenido de Universidad Nacional de Huancavelica :
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2973>
- NTP 339.034. (2008). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.
- NTP 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams*.
- NTP 339.078. (2018). Método de Ensayo para la determinación de la resistencia a la flexión.
- Oktay, H. A. (2015). *Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes*. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815302324>.
- Palomino Alvarado , K. A. (2016). *Hormigones de baja densidad ,pero de alta resistencia para aligerar la carga muerta de las estructuras de hormigon armado* . Obtenido de Universidad de Guayaquil:

- [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14939/1/PALOMINO_KLEBER_T_RABAJOTITULACI%
c3%92N_ESTRUCTURAS_2016.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14939/1/PALOMINO_KLEBER_T_RABAJOTITULACI%c3%92N_ESTRUCTURAS_2016.pdf)
- QUEZADA, G. E. (2010). *Universidad Austral de Chile*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA,: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcir618d/doc/bmfcir618d.pdf>
- Ramírez Palma, R. (2015). *Hormigón liviano con desecho de coco como sustituto parcial de agregado grueso*. Obtenido de La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2266>
- Ríos Mendieta, S. C. (2019). *Ladrillo de concreto ligero utilizando como agregado grueso piedra pómez para muros de tabiquería en viviendas multifamiliares*. Obtenido de Universidad Ricardo Palma: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2810>
- Sílce, C. L. (2019). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75942/708312.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75942/708312.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tupa Ortiz, A. M. (2018). *Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5523>
- Velay-Lizancos, M. (s.f.). *Universidad de Purdue*. Obtenido de Definición empírica de relación agua / cemento efectiva en morteros con árido reciclado en función de la absorción:
https://www.researchgate.net/publication/280153391_Empirical_definition_of_effective_watercement_ratio_in_mortars_with_recycled_aggregateDepending_on_the_absorption_--_Definicion_empirica_de_la_relacion_aguacemento_efectiva_en_morteros_con_arido_reci
- Veliz Barreto, A. M., & Vásquez Llerena, J. L. (2018). *Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de Aditivos*. Obtenido de Universidad nacional de san agustin: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5719>
- Videla, C. (2020). *INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA INTRINSECA DEL ARIDO LIVIANO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION Y RIGIDEZ DEL*

HORMIGON LIVIANO. Obtenido de Pontificia Universidad Católica de Chile:
<https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/212>

Zeyad, A. M., Khan, A. H., & Tayeh, B. A. (2019). *Durability and strength characteristics of high - strength concrete incorporated with volcanic pumie powder and polypropylene fibers*. Obtenido de ELSEVIER:
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.021>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Método de investigación:
¿De qué manera la dosis de piedra pómez como agregado grueso influye en las propiedades físico - mecánicas del concreto ligero estructural?	Determinar la dosis de piedra pómez como agregado grueso para mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural, según la norma E060.	Al determinar la dosis de piedra pómez como agregado grueso mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural, según la norma E060.	Piedra pómez como agregado grueso	Deductivo-cuantitativo
			Indicadores de V.I.	Tipo de investigación
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica	Dosificación de piedra pómez Porcentaje de piedra pómez	Descriptiva-correlacional
a) ¿Cuál es la óptima dosificación de piedra pómez que reduce la densidad del concreto ligero estructural?	a) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para reducir la densidad del concreto ligero estructural.	Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez se reduce la densidad del concreto ligero estructural.	Variable dependiente	Nivel de investigación:
			Propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural	Descriptivo
b) ¿Cómo el óptimo porcentaje de piedra pómez reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural?	b) Determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez que reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural.	Al determinar el óptimo porcentaje de piedra pómez se reduce la conductividad térmica en el concreto ligero estructural.	Indicadores de V.D.	

c) ¿De qué manera la óptima dosificación de piedra pómez influye en la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural?

c) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.

Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la flexión del concreto ligero estructural.

Diseño de investigación:

Estudio documental, bibliográfica y descriptiva

d) ¿De qué manera la óptima dosificación de piedra pómez influye en la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural?

d) Determinar la óptima dosificación de piedra pómez para mejorar la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

Al determinar la óptima dosificación de piedra pómez mejora la resistencia a la compresión del concreto ligero estructural.

Densidad del concreto
Conductividad térmica
Resistencia a la flexión
Resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia