

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Alvaro Alonso Licla Rodriguez

ASESOR

Elmer Rolando Polo Briceño

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2025

**Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado
al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser
sometido al fuego**

PRESENTADA POR
Alvaro Alonso Licla Rodriguez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Cesar Augusto Ramirez Guanilo
PRESIDENTE

Mario Antonio Martinez Fiestas
SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño
VOCAL

Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Revisión de la literatura.....	11
Materiales y métodos.....	23
Resultados	64
Discusión.....	93
Conclusiones	95
Recomendaciones	96
Referencias	98
Anexos	101

Resumen

Los incendios han sido un problema constante que se ha producido a lo largo de la historia, provocando grandes daños en las estructuras y provocando su posterior colapso, tal como pasó en Alejandría, donde se perdieron más de 500 000 libros, o en el Perú, cuando se incendió Mesa Redonda en 2001. Este estudio se centró en la incorporación de vermiculita al mortero aplicado al revestimiento para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad, microfisuras, coloración, durabilidad y adherencia) después de ser sometido a fuego. Se realizaron pruebas de laboratorio al agregado fino del mortero para preparar el diseño de la mezcla. Luego, se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas del mortero tomando como referencia las normas NTP 334.051, NCH 2186.of 92, ASTM C348, NCH 167.of 2001. Además, el autor propuso aplicar fenolftaleína en muestras de mortero para evaluar la durabilidad del mortero. Finalmente, los resultados mostraron que la incorporación de vermiculita mejoró la resistencia a la compresión, flexión y adherencia en un 50%, 66% y 21%, respectivamente. Por otro lado, la densidad del mortero disminuyó cuanto más se adicionó vermiculita (reducción hasta un 21%), lo que resulta beneficioso para ambientes que se encuentran en altas temperaturas, además que la adición de vermiculita redujo las fisuras y presentó resistencia ante la carbonatación en el mortero, donde esto es beneficioso para ambientes que están en altas temperaturas como fábricas, altos hornos, etc.

Palabras clave: vermiculita, propiedades mecánicas y físicas, incendios, carbonatación

Abstract

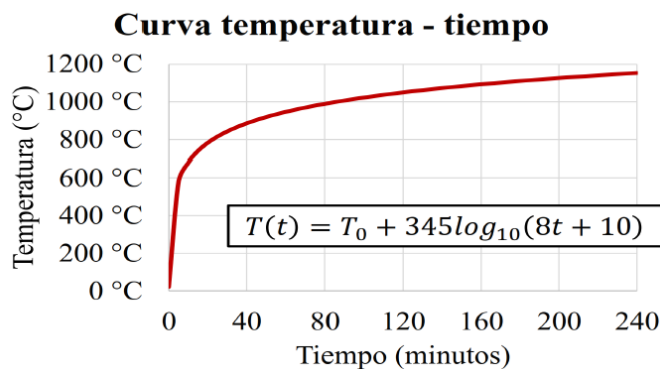
Fires have been a constant problem that has occurred throughout history, causing great damage to structures and causing their subsequent collapse, as happened in Alexandria, where more than 500,000 books were lost, or in Peru, when the Mesa Redonda fire in 2001. This study focused on the incorporation of vermiculite to the mortar applied to the coating to improve its mechanical and physical properties (compressive strength, flexural strength, density, microcracks, coloration, durability and adhesion). after being subjected to fire. Laboratory tests were carried out on the fine aggregate of the mortar to prepare the mix design. Then, the mechanical and physical properties of the mortar were evaluated taking as reference the standards NTP 334.051, NCH 2186.of 92, ASTM C348, NCH 167.of 2001. In addition, the author proposed applying phenolphthalein in mortar samples to evaluate the durability of the mortar. mortar. Finally, the results showed that the incorporation of vermiculite improved the compressive, flexural and adhesion strength by 50%, 66% and 21%, respectively. On the other hand, the density of the mortar decreased the more vermiculite was added (reduction up to 21%), which is beneficial for environments that are at high temperatures, in addition to the addition of vermiculite reduced cracks and presented resistance to carbonation in the mortar, where this is beneficial for environments that are at high temperatures such as factories, blast furnaces, etc.

Keywords: vermiculite, mechanical and physical properties, fires, carbonation

Introducción

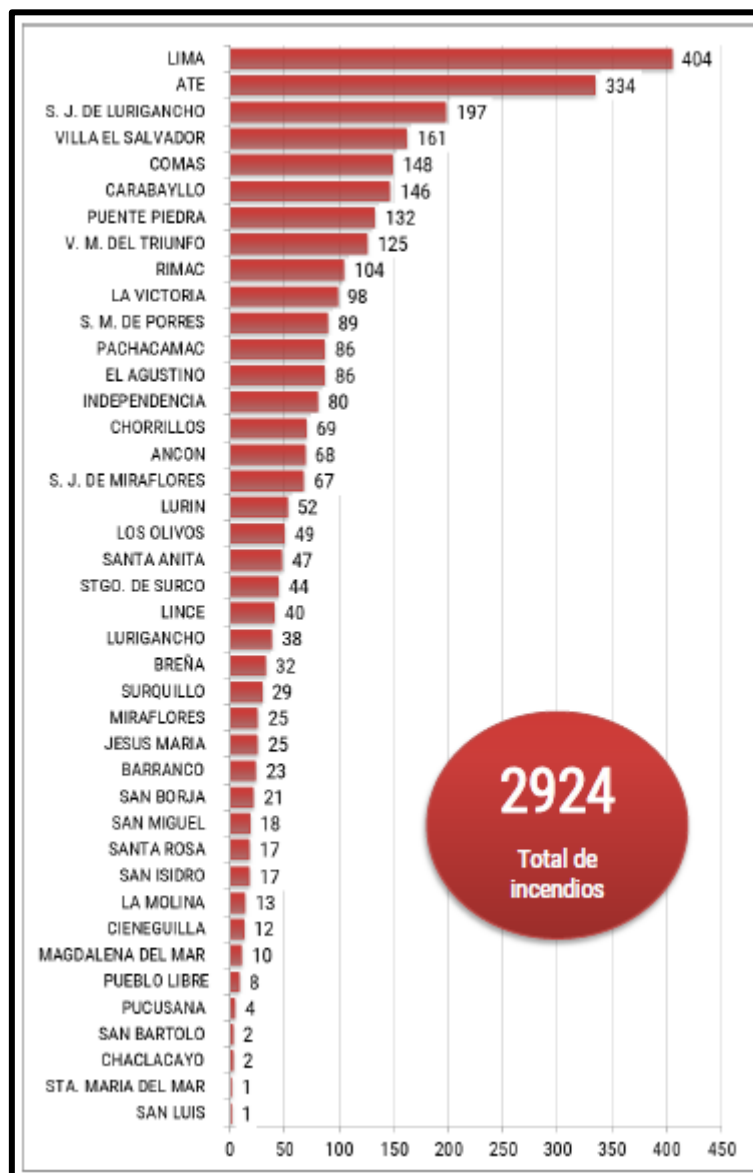
En la actualidad vemos una cantidad inmensa de incendios en edificaciones tanto comunes (viviendas unifamiliares y multifamiliares) como en las importantes (establecimientos penitenciarios, supermercados, hospitales) donde muchas veces la catástrofe no se puede controlar, donde el fuego se puede propagar y así aumentar la temperatura con el pasar del tiempo deteriorando el mortero de tarrajeo que se encuentra en contacto directo. Según la norma ASTM E119 en el apartado “Control of fire tests” indican el aumento de temperatura del fuego en un incendio con respecto al tiempo, donde en solo 5 minutos el fuego puede llegar a los 538°C, para luego, después de 10 minutos, se alcance una temperatura de 704°C, transcurridos 30 minutos llega a los 843°C, y así hasta llegar a los 1280°C transcurridas 8 horas [1]. Por otro lado, Rafael Ojeda indica en su informe llamado “Ingeniería de incendios” muestra una gráfica de una curva teórica temperatura – tiempo para el ensayo de exposición al fuego donde a las 4 horas el fuego llegaría a una temperatura de 1160°C aproximadamente [2]. Entonces, si queremos preservar gran parte de los elementos estructurales que contempla una edificación, debemos de prever para evitar pérdidas mayores.

Figura 1: Curva teórica temperatura - tiempo para el ensayo de exposición al fuego



El SEPRR indica las cifras de incendios urbanos en cada distrito de la capital del Perú desde 1993 hasta 2018 mediante el siguiente gráfico [3].

Figura 2: Reportes de Emergencia por incendios urbanos e industriales en Lima Metropolitana desde 1993 hasta 2018



También, la revista Andina indica que existen 13 441 terrenos que, para ese entonces, se encuentran en el cercado de Lima y, en caso de que ocurra un incendio, es muy riesgoso que ocurra una tragedia. También se señala que la Subgerencia de Defensa Civil de la Municipalidad Metropolitana de Lima detalló que, entre el año 2019 y 2020, se obtuvo un registro de 388 casos de incendio, de los cuales 244 suscitaron en el primer año mencionado y 144 hasta agosto del 2020. En esta revista también se detalla las principales causas que pueden desatar un incendio urbano, las cuales son: fallas eléctricas, fugas de gas, manejo inapropiado de elementos alta inflamabilidad [4].

En el Perú, uno de los más grandes incendios con gran impacto fue el que se dio en Mesa Redonda, donde el saldo fue de 247 heridos y 447 víctimas fatales, 277 de ellos fueron identificados, y 180 permanecen desaparecidos, aunque, pese a no tener rastro de ellos, se presume habrían fallecido en el suceso. Se trató del incendio originado por fuegos artificiales que causó más muertes en la historia contemporánea. La tragedia dejó, además, pérdidas materiales estimadas en 10 millones de dólares estadounidenses [5].

Debido a esto, el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (CGBVP) [6], ha detallado los tipos de emergencia que han recibido el año 2023, donde la cantidad de incendios hasta octubre ha sido de 9883, y el mes con mayor índice es en agosto.

Figura 3: Estadística de emergencias que recibieron atención en Perú en 2023

CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERU
COMANDO NACIONAL

**ESTADISTICA DE EMERGENCIAS ATENDIDAS A NIVEL NACIONAL
TIPO DE EMERGENCIA - 2023**

TIPO DE EMERGENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Incendios	1282	964	901	907	793	979	1174	1351	929	603	0	0	9883
Fuga de gas licuado	537	478	482	475	498	565	613	591	490	419	0	0	5148
Emergencias medicas	2595	2383	2966	2977	2520	2804	2724	2861	2669	2359	0	0	26858
Rescates	316	343	361	317	355	308	346	328	245	211	0	0	3130
Derrame de productos	5	3	10	10	8	6	3	6	10	3	0	0	64
Corto circuito	138	133	160	149	165	162	197	185	116	85	0	0	1490
Servicios especiales	333	503	311	349	556	376	497	391	303	278	0	0	3897
Accidentes vehiculares	1148	1159	1202	1084	1003	1141	1122	1134	1010	835	0	0	10838
Falsa alarma	332	291	338	365	355	373	444	428	137	126	0	0	3189
Otros	119	103	160	86	149	122	100	132	65	34	0	0	1070
TOTAL	6805	6360	6891	6719	6402	6836	7220	7407	5974	4953	0	0	65567

Acerca de cómo el fuego influye en las propiedades del mortero, Kim Hung Mo et al. [7] nos indica que los morteros de enlucido con resistencia mejorada a las temperaturas elevadas podrían proporcionar una solución al problema antes mencionado. Uno de los métodos es mediante la introducción de árido térmicamente estable y poroso en el mortero. Esto se debe a que el agregado silíceo utilizado convencionalmente puede causar deterioro a una temperatura de aproximadamente 570 °C y des carbonatación a una temperatura superior a 700 °C, lo que resulta en una pérdida significativa de resistencia. También indica que en los últimos años se ha estado empleando materiales ligeros como la vermiculita dándole un enfoque de sustitución al agregado fino, por lo que, al ser materiales porosos, se puede dar un uso en morteros de revoque para darle un aumento a la resistencia a temperaturas elevadas. Nos da una breve definición de la vermiculita, indicando que es un silicato hidratado de magnesio-aluminio-hierro, formado por la alteración de la mica y que se presenta en forma de escamas. Cuando se exfolia calentando a una temperatura de 900 °C o más, se libera agua y las escamas se expanden hasta convertirse en un material poroso muy liviano. La vermiculita expandida resultante se

considera resistente al calor y presenta buenas propiedades de aislamiento acústico y térmico [7].

El sistema constructivo y los materiales que se empleen al realizar la edificación tienen un impacto significativo en la resistencia de una vivienda al toparse con un incendio, y, así como indica Queilla Santos Viana et al. [8], la vermiculita expandida es atractiva para la producción de productos a base de cemento debido a sus características químicas, mineralógicas y microestructurales. Tiene propiedades importantes, como una conductividad térmica por debajo de lo normal, poca densidad y un punto de fusión elevado. Además, afirma que la adición de vermiculita expandida retiene inicialmente el líquido, provocando la incorporación de aire a medida que se evapora, aumentando la resistencia termo-acústica y reduciendo el peso específico. Por último, señala que, a pesar de los pros que brinda la vermiculita expandida en los morteros y concretos, aún no hay suficientes estudios que respalden y apoyen su uso como materia prima. Por otro lado, Ilana María da Silva Barros et al. [9], también nos brinda una breve descripción del uso de la vermiculita, señala que la vermiculita pertenece al grupo de materiales que presentan características como baja densidad específica, excelente aislante, no es tóxico, no es combustible, es capaz de absorber líquidos, actúa como lubricante a altas temperaturas y proporciona aislamiento térmico y acústico. Este agregado ya es ampliamente utilizado en la industria de la construcción con el objetivo de favorecer el confort térmico; sin embargo, su uso en materiales cementosos se ve obstaculizado por la alta absorción de agua. Este hecho se convierte en un problema porque puede modificar la trabajabilidad de las mezclas y, en consecuencia, otras propiedades en estado fresco y endurecido.

Esta investigación se centra en la implementación de la vermiculita que actuaría como un material extra en la mezcla del mortero, donde su principal característica es la resistencia a temperaturas elevadas. Recalcando lo antes mencionado, nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Que influencia genera la adición de la vermiculita expandida en las propiedades físicas y mecánicas del mortero sometido al fuego?

Esto conlleva a plantear lo siguiente: “La adición de la vermiculita expandida en el mortero sometido al fuego conlleva a un mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas”

En primer lugar, esta investigación contribuirá directamente a mejorar las tecnologías de construcción y optimizar los materiales que pueden ser usados en el ámbito de la construcción. La adición de vermiculita expandida puede mejorar potencialmente las propiedades físicas y mecánicas del mortero cuando este ya ha sido sometido al fuego, dando lugar a estructuras más sostenibles. Además, un conocimiento profundo de las propiedades mecánicas permitirá que los diversos implementos usados en la industria de la construcción se adapten mejor a diferentes

climas y condiciones geográficas, lo cual es importante para la durabilidad a largo plazo de los edificios.

profesionales de la industria de la construcción, arquitectos, ingenieros civiles y urbanistas, así como a los fabricantes de materiales de construcción. Estos grupos podrían utilizar los hallazgos de este estudio para mejorar los procesos de diseño, construcción y selección de materiales, lo que resultaría en una mayor eficiencia de la construcción y una reducción de los costos asociados con el mantenimiento y la reparación estructural.

En base a todo lo mencionado, el objetivo general de la presente investigación es determinar si las propiedades mecánicas y físicas del mortero como tarrajeo adicionando vermiculita obtienen una mejora cuando es sometido al fuego. De esta forma, como parte del objetivo general se pretende lograr los siguientes objetivos específicos:

- Especificar las características de la vermiculita expandida
- Comparar la resistencia a compresión del mortero tradicional y el mortero con adición de vermiculita expandida después de ser sometidos al fuego en diferentes rangos de temperatura
- Determinar la densidad para el mortero (estado endurecido) para las muestras sin adición y también para aquellas que contengan vermiculita expandida
- Elaborar el diseño de mezcla del mortero hidráulico para tarrajeo
- Determinar las micro fisuras que sufre el prototipo elegido (muretes) cuando es sometido al fuego
- Determinar la resistencia a flexión del mortero tradicional y también de las muestras que contengan vermiculita expandida después de ser sometidos al fuego en diferentes rangos de temperatura
- Determinar la coloración, adherencia y durabilidad del mortero cuando es sometido al fuego en diferentes rangos de temperatura

Revisión de la literatura

Antecedentes

Un reciente estudio realizado por los autores Mayanga Benites, Elvis et al. [10] en Perú fue el análisis del mortero utilizado como junta de albañilería incorporando vermiculita, en el cual se enfocaron en cómo está adición a la mezcla afectaba en las propiedades mecánicas, físicas y térmicas. Trabajaron con cemento, agregado fino, agua y vermiculita, batidora, moldes, etc. La muestra utilizada fue de 20 especímenes de mortero para los cuatro grupos de estudio: con la adición del 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% de vermiculita, haciendo un total de 80 testigos. Primero

solicitaron la ficha técnica de la vermiculita para determinar las propiedades mecánicas y comerciales del producto. Luego hicieron el estudio del agregado fino para realizar la mezcla, donde aquí se evalúa los diferentes ensayos aplicados al agregado fino. Para este entonces empezaron con el diseño de mezcla, donde determinaron las proporciones de los materiales. En la siguiente etapa realizaron la adición de vermiculita a cada testigo con su respectivo porcentaje. Posterior a esto, realizaron ensayos en estado fresco y en estado endurecido. La etapa N°06 consistió en elaborar pilas de ladrillos de mortero con adición de los porcentajes de vermiculita indicados, después compararon las propiedades del mortero patrón con el adicionado

Por último, determinaron las características técnicas y comerciales del mortero con una adición óptima, se optó por elegir una dosificación de acuerdo de tal forma que cumpla con lo establecido en lo especificado del mortero tanto en estado fresco como en estado endurecido. Como conclusión llegaron a corroborar que los agregados estudiados cumplen con las especificaciones de las normas y el diseño de mezclas con la proporción en volumen de 1:4 de acuerdo con la NTP 339.610 alcanzaron la resistencia de diseño de 175kg/cm^2 especificada por esta misma norma para muros de tipo portantes. Durante la realización de ensayos de mortero, la propiedad más resaltante es que el peso unitario disminuye a medida que se adiciona mayor porcentaje de vermiculita. La resistencia a la compresión a las edades de 3 y 7 días cumple con una resistencia de diseño de 210kg/cm^2 .

También Osman, Gencel et al. [11] en Suiza, busca reemplazar la arena natural por vermiculita expandida en morteros geo polímeros donde su objetivo es comparar las propiedades mecánicas entre el mortero con agregado fino y mortero con vermiculita expandida. Para ello, usó arena natural como agregado fino con 97.8% de sílice, vermiculita expandida de 4mm de tamaño de partícula, analizador C-Therm para medir la conductividad térmica. Se prepararon doce mezclas de morteros, compuestas por seis mezclas con una solución de NaOH 10 molar (grupo A) y seis mezclas con una solución de NaOH 15 molar (grupo B). En cada grupo, la arena se reemplazó con vermiculita expandida en dos proporciones de reemplazo de volumen: 15% y 30%. Se usó agregado fino en proporciones de volumen del 50% y 70% de la mezcla total. Para producir las mezclas de geopolímeros, primero se mezclaron arena, FA y vermiculita durante 3 minutos. Luego, el activador alcalino premezclado y agua se mezclaron con los componentes secos durante 2 minutos. Finalmente, la mezcla fresca se vertió en moldes con forma de prisma para producir $40 \times 40 \times$ Ejemplares de 160 mm. Se realizaron diferentes pruebas en cada mezcla única para evaluar las propiedades frescas y endurecidas de las mezclas de geopolímeros, incluida la fluidez, la porosidad aparente, el peso unitario seco, la absorción de agua, la

resistencia a la compresión, velocidad del pulso de ultrasonido y conductividad térmica. Donde se obtuvo como conclusiones que el aumento del contenido de vermiculita en un 15% y 30% resultó una disminución de fluidez del 4%, el peso unitario seco en un 5%, la resistencia a la compresión en un 9%, la velocidad del pulso de ultrasonido en un 13%. Además, una mayor absorción de agua en un 15%.

Por otro lado, Queilla Santos, Viana et al. [8] nos habla de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del concreto cuando se realizan con vermiculita donde tienen como objetivo la evaluación del efecto del uso de vermiculita expandida y su impacto en la producción de tejas de hormigón. Se evaluó el tratamiento testigo y sustitución de 12.5, 25, 37.5 y 50% de arena por vermiculita. Para la fabricación de las tejas de concreto se utilizaron piedra, caliza, arena y vermiculita expandida como áridos finos, donde realizaron mezclas de vermiculita al 12.5%, 25%, 37.5% y 50%. Una vez hecha la mezcla, se evaluó sus propiedades físicas como la absorción de agua, porosidad, peso seco y las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción. Después de haber realizado los ensayos para todas las propiedades físicas y mecánicas llegaron a concluir que las cantidades evaluadas de vermiculita afectaron significativamente las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de las tejas de concreto. El uso de vermiculita en el concreto promovió una reducción del peso seco y de la conductividad térmica, sin afectar la durabilidad. Además, se recomendó el uso del 31% de vermiculita para mejorar el aislamiento térmico y reducción de su peso.

De la misma forma, Lucas S. Batista et al. [12] realizó una investigación algunos materiales alternativos como la vermiculita y el caucho en compuestos cementosos para controlar el ruido, donde su fin fue estudiar las propiedades de compuestos cementosos que contienen vermiculita expandida y caucho de neumáticos en sustitución parcial de la arena para verificar el efecto potencial sobre el control del ruido de impacto. En este estudio se prepararon compuestos cementosos utilizando los siguientes materiales: cemento Portland de alta resistencia inicial, arena de cuarzo fina, agregados de caucho de llantas de desecho, agregados de caucho expandido. Realizaron mezclas R10, R20 y R30, se prepararon con 10, 20 y 30% de caucho en reemplazo parcial de arena. A cada mezcla se le agregó vermiculita expandida con 10, 20, 30, 40 y 50% en reemplazo parcial de arena, respectivamente, denominadas V10, V20, V30, V40 y V50. Ya realizado las mezclas y determinadas sus propiedades, llegaron a la conclusión de que el uso conjunto de vermiculita y caucho demostró ser viable como agregados livianos en la producción de compuestos cementosos porque la densidad de los compuestos cementosos estudiados disminuyó con el aumento del contenido de arena en los compuestos cementosos.

P. Ashveen Kumar et al. [13] nos dice que el concreto se utiliza en las obras de construcción y,

para realizar las mezclas, necesitamos recursos naturales. Es por eso que en su investigación buscan utilizar parcialmente la vermiculita como sustituto de la arena, donde el objetivo de su estudio es estudiar las propiedades mecánicas del mortero de cemento EV con diferentes porcentajes, es decir, 5%, 10% y 15% de aditivos minerales de micro sílice y cenizas volantes ultrafinas como reemplazos parciales del cemento, y EV. al 20%, 40%, 60% y 80% en peso como reemplazo parcial del agregado fino. Para ello han usado cemento, agregado fino, agua, vermiculita exfoliada, micro sílice y cenizas volantes ultrafinas como sus materiales. Realizaron un estudio experimental para conocer las propiedades mecánicas de un mortero de cemento amasado ternario adicionado con vermiculita exfoliada después de 7 y 28 días de curado. Una vez ya realizado los ensayos, concluyeron que el uso de EV reduce la densidad del mortero, lo que reduce el peso propio de los elementos estructurales. La resistencia a la compresión en todas las edades está disminuyendo debido al reemplazo de arena por Vermiculita Exfoliada (EV), pero se obtuvo un diseño económico con un reemplazo del 20%.

Fuat Koksall et al. [14], hace énfasis que, las altas temperaturas provocan la deshidratación térmica de la pasta de cemento endurecida o del hormigón, lo que reduce la vida útil esperada de la estructura debido al daño permanente. Por lo tanto, se ha convertido en un tema importante en términos de economía y seguridad. Con el aumento de la temperatura en la pasta de cemento endurecido, primero se pierde agua libre, seguida de la pérdida de agua. Es por eso que en su estudio tiene como principal objetivo comparar las características de dos tipos diferentes de cemento, a saber, cemento Portland (PC) y cemento aluminato de calcio (CAC) como aglutinantes y los agregados finos se reemplazaron con EVP en tasas de 0%, 15%, 30% y 45%. La microestructura, las propiedades térmicas, mecánicas y la durabilidad de los morteros de PC y CAC producidos. Sus materiales empleados fueron cemento Portland, cemento aluminato de calcio, vermiculita expandida de densidad de 1.68g/cm³, arena triturada de 0 a 4 mm con un peso específico de 2,63 y una tasa de absorción de agua de 0,98%. Se realizaron ensayos en probetas de 50 × 50 × 50 mm para evaluar las propiedades de transporte de acuerdo con la norma ASTM C642 para determinar la absorción de agua y la porosidad y el peso unitario están expuestos a la temperatura ambiente y alta temperatura de 300 °C, 600 °C y 900 °C. Los prismas de mortero de 40 × 40 × 160 mm se fundieron para flexión según ASTM C348-19 y compresivas pruebas de resistencia según la directriz de ASTM C349-18. Se utilizaron tres especímenes para realizar resistencia a la flexión y seis probetas obtenidas del ensayo de flexión se utilizaron para realizar la resistencia a la compresión en condiciones ambientales y después de ser sometidas a temperaturas de 300 °C, 600 °C y 900 °C. la calidad de los hormigones de

acuerdo con la norma ASTM C597-02 después de haber sido expuestos a temperaturas relacionadas. En el artículo nos indican que la conclusión a la que llegaron fue que, A 600 °C, las muestras mezcladas con CAC exhibieron reducciones de resistencia de 20.8%, 15.2%, 25.0% y 22.4% para la adición de 0, 15%, 30% y 45% de EVP. Por otro lado, las muestras mezcladas con PC revelaron una reducción de la resistencia en todos los rangos de temperatura y una reducción mayor que especímenes CAC. Del mismo modo, la mayor resistencia de 20,70 MPa se obtuvo para la muestra CAC Control y el valor más bajo que se obtuvo fue 6,70 MPa para la mezcla con un contenido de EVP del 45% con una reducción del 67,63% en comparación con CAC.

Además, Ilana María da Silva Barros [9], indica que existe un creciente número de investigaciones encaminadas a investigar el uso de áridos ligeros, como la vermiculita, que presenta importantes propiedades, concretamente una baja conductividad térmica y una alta resistencia al fuego. También indica que su objetivo es evaluar el desempeño térmico de morteros en una mezcla de volumen 1:1:6, con la adición de vermiculita expandida en porcentajes definidos de reemplazo del agregado fino (25%, 50%, 75% y 100%). Para cumplir esta meta, utilizaron cemento Portland de alta resistencia al ataque de sulfatos, cal tipo CH I, arena natural y vermiculita expandida y agua. El procedimiento experimental se inició con la caracterización química, mineralógica, microestructural y térmica de la vermiculita, y con la caracterización física de ésta y de la arena constituyente. Se analizaron las propiedades de consistencia, retención de agua, absorción capilar, porosidad y resistencia mecánica de cada mezcla. Como resultado se obtuvo que la vermiculita reduce el 9% del peso total cuando la temperatura alcanza los 900°C. Las pérdidas se refieren a la eliminación de moléculas adsorbidas y entre capas y moléculas químicas de agua del mineral. La menor masa específica y unitaria de la vermiculita expandida es la principal característica que influye en las propiedades del mortero, tanto

en el cálculo de la mezcla en volumen como en el comportamiento en estado fresco y endurecido. Para mantener una trabajabilidad adecuada, es esencial que el contenido de agua aumente a medida que aumenta el contenido de vermiculita expandida en la composición

Bases teóricas

La norma E.070 [15] indica muchos términos y definiciones, entre los cuales menciona que el mortero es un elemento que se puede usar para adherir a los ladrillos. Para lograr esta mezcla debemos de tener en cuenta con algunos materiales como el cemento, agregado fino y agua.

La norma NTP.334.009 [16] da una definición del cemento indicando que es un cemento que

se produce por pulverizar el Clinker, compuesto principalmente por $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, sulfato de calcio y, de forma eventual, caliza que actúa como un elemento extra durante la reducción de su tamaño. Además, en esta misma norma precisa los tipos que existe del cemento Portland que varía dependiendo de la zona geográfica donde quieras usarlo, los cuales son:

- Tipo I: Se puede usar de forma general, siempre y cuando no se necesite propiedades específicas que pueda tener otro tipo de cemento
- Tipo II: Su uso se puede dar cuando se necesite un nivel regular de resistencia ante los sulfatos y calor de hidratación
- Tipo III: El uso que se puede brindar a este tipo de cemento es cuando se necesite obtener una resistencia inicial elevada
- Tipo IV: Se puede usar en el caso de que se requiera bajo calor de hidratación.

Los agregados en la construcción son imprescindibles en las obras públicas, industriales, etc. Estos influyen directamente en la trabajabilidad, durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, peso unitario, entre otros. [17]

Con la premisa dada, se mencionará al agregado fino que, según la NTP. 400.011 [18] indica que es un agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. Además, también se detalla la clasificación por su composición granulométrica, donde se indica los tamices que pasa el agregado fino.

Algunas propiedades del agregado fino son:

- Granulometría:
Se debe ejecutar un análisis dimensional de aquellas partículas que se encuentran en una mezcla de agregados. La forma de realizarlo es por medio de tamices con aberturas de diferente tamaño, donde se filtra el agregado con el objetivo de generar divisiones del mismo tamaño [19].
- Módulo de finura:
Es aquel factor que nos permite determinar si el material es considerado fino o grueso. Se define como la centésima parte del número que se consigue al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los tamices mencionados a continuación: 149 μm (No.100), 297 μm (No.50), 595 μm (No.30), 1,19mm(No.16), 2,38mm(No.8), 4,76mm(No.4), 9,51mm(3/8"), 19mm(3/4"), 38,1mm(1½") y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2.

El módulo de finura se puede aplicar en cualquier tipo de material, sin embargo, es recomendable definirlo en el agregado fino y, según lo obtenido, tiene una clasificación que puede ser desde “muy fino o extra fino” hasta “extremadamente grueso” [20].

Tabla 1: Tabla de denominación del agregado fino en relación a su módulo de finura

MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 – 2,30	Fino
2,30 – 2,60	Ligeramente fino
2,60 – 2,90	Mediano
2,90 – 3,20	Ligeramente grueso
3,20 – 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

- Tamaño máximo:

Está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material [20].

Tabla 2: Rangos granulométricos recomendados (% que pasa por cada malla)

TAMIZ		LIMITE DE LOS PORCENTAJES QUE PASAN LOS SIGUIENTES TAMAÑOS MAXIMOS								
Pulgadas	mm	90,6mm (3 ½")	76,1mm (3")	64,0mm (2 ½")	50,8mm (2")	38,1mm (1 ½")	25,4mm (1")	19,0mm (¾")	12,7mm (½")	9,51mm (⅜")
3 ½	90,6	100								
3	76,1	94 91	100							
2 ½	64,0	89 83	94 91	100						
2	50,8	82 73	87 80	92 88	100					
1 ½	38,1	74 62	78 68	83 75	90 85	100				
1	25,4	64 50	68 55	72 60	78 68	87 80	100			
¾	19,0	58 42	62 47	65 51	71 58	78 68	90 85	100		
½	12,7	50 34	53 37	57 41	62 47	68 55	78 68	87 80	100	
3/8	9,51	45 29	48 32	51 35	56 40	62 47	71 58	78 68	90 85	100
No.4	4,76	36 20	38 22	40 24	44 27	48 32	56 40	62 47	71 58	78 68
No.8	2,36	28 13	30 15	32 16	34 18	38 22	44 27	48 32	55 40	61 46
No.16	1,18	22 9	23 10	25 11	27 13	30 15	34 18	38 22	44 27	48 32
No.30	600 μ	17 6	18 7	20 8	21 9	23 10	27 13	30 15	34 19	38 22
No.50	300 μ	14 4	14 4	15 5	17 8	18 7	21 9	23 10	27 13	30 15
No.100	150 μ	11 3	11 3	12 4	13 4	14 5	17 6	18 7	21 9	23 10

- Tamaño máximo nominal:

Es aquel que hace referencia al tamaño mayor del tamiz, listado en la norma aplicable, y que permite que el material pueda ser retenido. Su utilidad es mayor que el tamaño máximo debido a que define mejor el promedio de fracción gruesa, y el tamaño máximo solo establece la

partícula más grande del agregado que se esté evaluando. El TMN y el TM son usados, por lo general, en el agregado grueso.

Por último y más importante tenemos al agua que, en principio, es utilizada para el amasado. Aquellas que tengan como punto de origen aguas residuales, o que contengan agentes químicos como ácidos, grasas, materia orgánica que dañe su estructura, no se podrá usar para elaborar mezclas de concreto o mortero. Por otro lado, si se almacenará el agua o se transportará de un lugar a otro, se debe asegurar que estos medios no estén contaminados y se encuentren completamente limpios. El agua deberá estar libre de partículas en suspensión. [21]

También es bueno precisar la definición de lo que es un aditivo, que se puede emplear para el mejoramiento de las propiedades que se necesite, ya sea trabajabilidad, tiempo de fraguado o aumento de resistencia a compresión. Aquellos que son más utilizados son acelerantes, impermeabilizantes, retardantes, etc. Para el uso de cualquier aditivo se debe tener en cuenta que no exceda el 1% de la masa del cemento y arena. Se debe realizar una consulta a los laboratorios especializados sobre la aplicación del aditivo a utilizar. [21]

Según la norma E.070, el mortero está compuesto por cemento y arena, a estos se les añadirá la suficiente cantidad de agua, de tal forma que no afecte en su trabajabilidad, adhesión y no genere segregación. Si se realizará un mortero ya sea para junta o para revestimiento, se debe tener en consideración las normas NTP 399.607 y 399.610 [15].

Componentes del mortero:

- a) Los materiales aglomerantes del mortero pueden ser:
 - Cemento Portland tipo I y II
 - Cemento adicionado IP
 - Una mezcla de cemento Portland o cemento adicionado y cal hidratada

- b) El agregado fino debe contar con las propiedades de estar libre de sustancias orgánicas, sales y ser una arena natural. Se considerarán otros niveles de granulometría mientras en los ensayos realizados a muretes de 60x60cm y pilas de 3 hileras obtengan una resistencia superior al 90% de los valores mostrados en la tabla N°02 [15].

Tabla 3: Granulometría de la arena

TABLA 3 GRANULOMETRÍA DE LA ARENA	
MALLA ASTM	% QUE PASA
Nº 4 (4,75 mm)	100
Nº 8 (2,36 mm)	95 a 100
Nº 16 (1,18 mm)	70 a 100
Nº 30 (0,60 mm)	40 a 75
Nº 50 (0,30 mm)	10 a 35
Nº 100 (0,15 mm)	2 a 15
Nº 200 (0,075 mm)	Menos de 2

En esta norma también nos indica algunos criterios a tomar respecto a la granulometría del agregado fino:

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre 2 mallas consecutivas
 - El módulo de finura estará comprendido entre 1,6 y 2,5
 - El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso
 - No deberá emplearse arena de mar
- c) El agua será bebible y libre de sustancias deletéreas, sales, ácidos, álcalis y materia orgánica [15].

Propiedades importantes del mortero:

- **Fluidez:** Es aquel que permite la facilidad con que el mortero es colocado en ladrillos. La fluidez del mortero es esencial en lo antes mencionado, donde este está vinculado en qué tan seco o fluido se encuentra la mezcla en estado fresco [19].

Tabla 4: Fluidez del mortero para diferentes tipos de estructuras y ejemplo de colocación

Consistencia	Fluidez %	Situaciones de colocación	Ejemplos de tipo de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (seca)	80 - 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibración de formaleta
Media (plástica)	100 - 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 - 150	Sin vibración	Pañetes rellenos de albañilería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

- Retención de agua: Tiene que ser elevada, con el fin de no generar fisuras, grietas y pérdidas de resistencias. [22].
- Retracción de secado: En los morteros es normal que esta propiedad sea alta (alto contenido de pasta) y por ende debe buscarse la disminución de esta. Es recomendable el uso de niveles bajos de cemento, agregado fino y en lo posible cementos adicionados. Por último, se debe de dar importancia en el curado. [22].
- Resistencia a la compresión: La dependencia de tener una alta o baja resistencia a la compresión son la relación agua/cemento, la adición colocada y la granulometría del agregado fino, la cual se evalúa con el módulo de finura. La aplicación de arcilla conlleva a una disminución de la resistencia, por ello se debe tener un control en su adición a la mezcla [22].
- Densidad: La densidad del mortero está directamente relacionada con su contenido de aire [23], es la relación que tiene su peso con su volumen.
- Adherencia: Consiste en la capacidad del mortero para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interfase mortero-base. Se refiere, por lo tanto, a la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte [23].
- Absorción de agua: La importancia de determinar la absorción de agua es conocer el nivel de permeabilidad que tiene la mezcla de mortero. Si este tiene una buena compactación y cohesión de sus materiales, tendrá un porcentaje de absorción bajo [23].

Clases de mortero:

- Morteros calcáreos:

La cal blanca y cal dolomítica (gris) son las más conocidas. Aquellos con tengan en su contenido este material, tendrá una trabajabilidad mejor, que dependerá del material aglutinante que se encuentre en él. Si se quiere realizar un acabado, la proporción correcta es 1 en 2, en cambio, si quieres realizar trabajos que requieran unidades de albañilería, se recomienda la proporción de 1 en 3. Si se realizan trabajos con proporciones mayores a las mencionadas, puede afectar en la mezcla en estado endurecido, generando grietas [19].

- Mortero de cal y cemento portland:

La dosificación base de este mortero es de 1:3 donde los puntos fuertes de esta mezcla

son la trabajabilidad, la capacidad de retener agua y presentar resistencias altas en un inicio. El mortero debe estar compuesto, en su mayoría, por cemento; si no se sigue esta premisa, la cal generará una disminución de las propiedades ya mencionadas. La recomendación es que la proporción se ejecute teniendo en cuenta las características de adhesión que posee la cal y aquellas características de cohesión que tiene el cemento Portland [19].

- Morteros de cemento:

Si se quiere obtener resistencias altas, se debe emplear los cementos naturales o cemento portland. Se debe tener en cuenta que la relación cemento / arena influye principalmente en su trabajabilidad. Para evitar el fraguado del mortero antes de ser colocado, se debe mezclar primero la arena con el cemento. Se debe trabajar con pocos porcentajes de cemento, caso contrario se volverá difícil trabajar con la mezcla de mortero. Además, realiza la función de envolver las partículas de arena de tal manera que quede cubierto cada grano por una fina capa de cemento. Los ensayos de granulometría, así como el módulo de finura, debe de ser correctamente evaluado y cumplir con los límites establecidos con el objetivo de generar una masa homogénea con una adecuada compactación. [19].

Vermiculita:

P. Ashveen Kumar et al. [13], indica que la vermiculita es el nombre de un grupo de minerales filossilicato que se compone de silicatos laminares hidratados, contiene una capa de moléculas de agua en su estructura interna; formado por alteración hidrotermal de la mica. cuando se calienta rápidamente, la vermiculita se desprende el agua entre las capas se convierte en vapor, lo que obliga que las capas se separen. Para añadir, Ilana María da Silva Barros et al. [9], señala los elementos que componen la vermiculita en la siguiente tabla:

Tabla 5: Elementos constituyentes de la vermiculita

Elemento	% Por peso
SiO ₂	38,00–46,00
Al ₂ O ₃	10,00–16,00
MgO	16,00–35,00
CaO	1,00–5,00
K ₂ O	1,00–6,00
Fe ₂ O ₃	6,00–13,00
TiO ₂	1,00–3,00
H ₂ O	8,00–16,00
Otros	0,20–1,20

La vermiculita es un mineral arcilloso de la familia de las ilitas, excepto que entre las capas hay una capa de doble peso molecular de agua mezclada con iones de calcio o magnesio, en la que la gibsite se sustituye por brucita. La vermiculita se expande a temperaturas significativamente más altas a medida que las capas de agua se convierten en vapor de agua con mayor expansión [24].

La vermiculita al estar sometida al fuego ocurre lo siguiente:

- Entre 100°C y 250°C, se erradica el agua higroscópica adquiriendo porosidad
- Entre 250°C y 600°C, se pierde el agua de absorción y se disocian la sílice de la alúmina
- Entre 600°C y 800°C, adquieren propiedades puzolánicas
- Entre 800°C y 1200°C, las arcillas calizas eliminan el anhídrido carbónico con gran retracción hasta en 10%
- De 1200°C a 1500°C, se vitrifican

Normativas:

- NTP 334.051: Ensayo de resistencia a la compresión
- I.N.V.E – 324 – 07: Ensayo de resistencia a la flexión
- NCH 2186.Of 92: Ensayo de densidad real saturada y densidad real seca
- NCH 167.Of 2001: Ensayo de adherencia a cizalle
- NTP 339.621: Ensayo de realización de muretes de albañilería
- NTP 400.012: Ensayo de granulometría de agregados
- NTP 400.017: Ensayo de peso unitario
- NTP 400.021: Ensayo de peso específico y absorción
- NTP 339.185: Ensayo de contenido de humedad

Carbonatación:

Al momento de evaluar la durabilidad en elementos estructurales, hay opciones a tomar en cuenta, donde una de estas es la aplicación de fenolftaleína para comprobar el grado de carbonatación al que ha llegado la muestra. La carbonatación es un fenómeno ocasionado por la reacción química entre el hidróxido de calcio del concreto y el dióxido de carbono de la atmósfera, formando carbonato cálcico insoluble [25].

Materiales y métodos

Tipo de investigación:

El presente estudio revela un enfoque de diseño basado en un método experimental, que implica la aplicación de un estímulo específico. Este implica una manipulación deliberada de la variable independiente, que será comparada con la hipótesis planteada. La presencia y ausencia del estímulo serán observadas en la variable dependiente, donde algunas muestras incorporarán la variable independiente y otras no. En particular, se analizará el impacto en las propiedades mecánicas del mortero en estado endurecido, al introducir vermiculita expandida en distintas proporciones. Este análisis se contrastará con muestras de mortero convencional sin la presencia de vermiculita expandida donde ambas muestras hayan sido sometidas al fuego.

Diseño de investigación

El diseño es experimental porque se utiliza la variable independiente a un grupo de muestras, además, se contará con otro grupo de muestras que no se añadirá la variable independiente y será utilizada como control para analizar los cambios que puede generar la variable independiente sobre las propiedades del mortero hidráulico como tarrajeo.

Población, muestra y muestreo

Población y muestra

Para el desarrollo de la presente investigación, la población que se tendrá será el mortero elaborado para realizar el análisis de las propiedades mecánicas y físicas aplicando un porcentaje distinto de vermiculita expandida para cada grupo de estudio.

La muestra será de 108 testigos de 5x5x5 cm, 36 testigos de 4x4x16 cm, 16 pilas de ladrillo de 3 hileras y 16 muretes 60x60 cm, donde se realizará una adición 2.5%, 5% y 7.5%, teniendo como referencia a Mayanga Benites, Elvis et al. [10], quien realizó una adición de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de vermiculita al mortero aplicada a la junta de albañilería. Además de la última referencia dada, también los demás antecedentes realizaron una adición o sustitución de agregado fino por vermiculita que varía desde el 5% hasta el 100% y a partir del 15%, las propiedades del mortero se ven afectadas seriamente. Es por esto que se toma una adición baja en comparación con la que tomaron los antecedentes.

Tabla 6: Muestras para determinar la densidad del mortero en estado endurecido en especímenes de 4x4x16cm

Muestras para determinar la densidad en estado endurecido del mortero		
Cantidad de vermiculita expandida en porcentaje	Grupo de estudio (10 especímenes por grupo)	Total de grupos de estudio
0%	1	4
2.5%	1	
5%	1	
7.5%	1	

Tabla 7: Muestras de mortero para los ensayos de resistencia a la compresión con el fin de verificar el diseño de mezcla ($f'c=100\text{kg/cm}^2$) en especímenes de 5x5x5cm

Muestras de mortero para los ensayos de $f'c$ con el fin de verificar el diseño de mezcla					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Curado de mortero	Número de muestras	Total de muestras	
	%	Días	-	Parcial	Total
Mortero sin adición	0%	3	3	9	36
		7	3		
		28	3		
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	3	3	9	
		7	3		
		28	3		
	5%	3	3	9	
		7	3		
		18	3		
	7.5%	3	3	9	
		7	3		
		28	3		

Tabla 8: Muestras de mortero para los ensayos de resistencia a la compresión cuando son sometidas al fuego a una cierta temperatura en especímenes de 5x5x5cm

Muestras de mortero para los ensayos de resistencia a compresión siendo sometidas al fuego a una cierta temperatura					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Temperatura de exposición	Número de muestras	Total de muestras	
	%	°C	-	Parcial	Total
Mortero sin adición	0%	500	3	9	36
		750	3		
		1000	3		
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		
	5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		
	7.5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		

Tabla 9: Muestras de muretes para evaluar micro fisuras y coloración

Muestras de mortero para evaluar micro fisuras y coloración cuando es sometido al fuego a una cierta temperatura					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Temperatura de exposición	Número de muestras	Total de muestras	
	%	°C	-	Parcial	Total
Mortero sin adición	0%	500	2	4	16
		750	2		
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	500	2	4	
		750	2		
	5%	500	2	4	
		750	2		
	7.5%	500	2	4	
		750	2		

Tabla 10: Muestras de morteros para resistencia a flexión mediante especímenes de 4x4x16cm

Muestras de mortero para los ensayos de resistencia a flexión siendo sometidas al fuego a una cierta temperatura							
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Temperatura de exposición	Número de muestras	Total de muestras			
	%	°C	-	Parcial	Total		
Mortero sin adición	0%	500	3	9	36		
		750	3				
		1000	3				
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	500	3	9		36	
		750	3				
		1000	3				
	5%	500	3	9			36
		750	3				
		1000	3				
	7.5%	500	3	9	36		
		750	3				
		1000	3				

Tabla 11: Muestras de mortero para evaluar durabilidad por fenolftaleína

Muestras de mortero para evaluar durabilidad cuando es sometido al fuego a una cierta temperatura					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Temperatura de exposición	Número de muestras	Total de muestras	
	%	°C	-	Parcial	Total
Mortero sin adición	0%	500	3	9	36
		750	3		
		1000	3		
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		
	5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		
	7.5%	500	3	9	
		750	3		
		1000	3		

Tabla 12: Muestras para ensayo de adherencia del mortero en pilas

Muestras de mortero para evaluar adherencia cuando es sometido al fuego a una cierta temperatura					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Temperatura de exposición	Número de muestras	Total de muestras	
	%	°C	-	Parcial	Total
Mortero sin adición	0%	500	2	4	16
		750	2		
Mortero con adición de vermiculita expandida	2.5%	500	2	4	
		750	2		
	5%	500	2	4	
		750	2		
	7.5%	500	2	4	
		750	2		

Criterios de selección

- En esta investigación se utilizará un enfoque de muestreo basado en criterios no probabilísticos o basados en juicios. Este método de muestreo implica seleccionar la muestra en base a la experiencia basada en lo demostrado en otros estudios anteriores, a través de su conocimiento de la población y su comportamiento respecto a la especificidad de la investigación especificada. Para garantizar la fiabilidad de la muestra propuesta se ha realizado una revisión de muestras de estudios previos.
- En la NTP 399.610 [26], nos indica que la resistencia a la compresión del mortero a la edad de 28 días de curado debe ser como mínimo de 5,2 MPa equivalente a 53 kg/cm² o de 750 lb/pulg². Además, en los antecedentes se observó que algunas propiedades del mortero con vermiculita disminuyen y, es por ello que se ha optado por una resistencia a la compresión de 100 kg/cm², con el fin de tener un margen entre la mínima $f'c$ que nos exige la NTP 399.610 y el $f'c$ real del mortero con adiciones que se obtuvo. Además, en la norma NTP 334.051 [27], también indica las edades de ensayo a las que se deben someter los especímenes los cuales son de 3, 7 y 28 días. Por último, se tomó 3 especímenes por cada edad de ensayo ya que en el apartado 8 de la norma ya mencionada indica que esa cantidad es la que se debe realizar.
- Por otro lado, se ha determinado las adiciones de 2.5%, 5% y 7.5% ya que, en los antecedentes encontrados hubo adiciones que variaban desde el 5% hasta el 100%. Si bien es cierto, el mortero con adición de vermiculita hasta el 15% sometido al fuego mostró una mejor resistencia a la compresión si lo comparamos con el mortero sin adición, pero si nos excedíamos de ese porcentaje, la trabajabilidad, resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción de agua se vería afectada (decrecimiento). Es por eso que se optó por esos porcentajes de adición.
- Se analizó la densidad, coloración, durabilidad, adherencia, resistencia a flexión, micro fisuras y la resistencia a la compresión, ya que, estas propiedades son las que más variación sufren al adicionar la vermiculita expandida en la mezcla del mortero. Tal como indica Ilana María da Silva Barros et al. [9], donde la densidad de su mortero con adición de vermiculita se redujo a 0.15-0.25 g/cm³ y P. Ashveen Kumar et al. [13], también nos indica que el uso de vermiculita reduce la densidad del mortero, lo que reduce el peso propio de los elementos estructurales. Por otro lado, el último autor mencionado también indica que la resistencia a la compresión en todas las edades que el usó en su investigación disminuye debido al reemplazo de arena por vermiculita [13].
- Para el ensayo de resistencia a la compresión, tomaremos como base la norma técnica

peruana NTP 334.051 [27].

- De igual modo se procederá para realizar los ensayos de densidad del mortero, con la diferencia que aquí se usará la norma NCH 2186. of92 [28]. Las probetas a usar según esta norma están basadas en NCH 158. Of67 [29], que indica que se usan moldes de 40x40x160 mm.
- Para la realización del ensayo de adherencia del mortero se usará la norma NCH 167.of2001 [30], la cual indica que el ensayo se debe realizar mediante pilas formada por 3 ladrillos asentados con el mortero a analizar en diferentes porcentajes de vermiculita. También indica la cantidad mínima de probetas por muestra, la cual debe ser de 6 como mínimo.
- Para el ensayo de micro fisuras se usó la NTP 399.621 [31], donde señala que la cantidad de especímenes por diseño (2 unidades) y las dimensiones que serán de 60x60cm.
- Para el ensayo de resistencia a la flexión se usó la norma I.N.V.E – 324 – 07 [32], donde indica que los prismas tendrán unas longitudes de 4x4x16cm. Además, señala que se deben realizar 3 o más muestras para cada diseño.
- Al ensayar la adherencia, micro fisuras y coloración del mortero en las pilas y muretes, el ladrillo artesanal a usar también estuvo expuesto al fuego. Por ello, se tomó 2 temperaturas: 500 °C y 750 °C. Según Ioannis Makrygiannis et al. [33], indica que la pérdida de peso bajo cocción a más de 850 °C se atribuyó a la pérdida de materia orgánica en la arcilla, esto quiere decir que, al llegar a esa temperatura, ya se generan pérdidas significativas del ladrillo artesanal.
- El tiempo de exposición frente al fuego de las muestras estará en un rango de 5 – 20 minutos, tomando como referencia a Alama Sarango, Karen del Rosario et al. [34], donde indica en su proyecto de investigación, con título “Comportamiento frente a temperaturas elevadas del mortero hidráulico con valva de concha de abanico”, que sometió sus muestras en un horno a temperaturas de 600°C, 800°C y 1000°C por 2 horas, donde aquellas que superaron el primer rango terminaron descompuestas totalmente. Por ello, con el fin de que las muestras no colapsen y se pueda brindar un valor real, se optó por ese tiempo de exposición.
- Para el ensayo de durabilidad se aplicará fenolfateína para determinar el nivel de carbonatación de las muestras de mortero patrón y aquellas con los porcentajes de adición de vermiculita expandida. Se usaron las mismas cantidades de especímenes para cada porcentaje de adición que en el ensayo de resistencia a la compresión de mortero.

Operacionalización de variables

Tabla 13: Variables dependientes e independientes

	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
Independiente	Arena	Adición de vermiculita expandida	-Ensayos de granulometría	% en peso	0%	Balanza
	Cemento				2.5%	
	Vermiculita				5%	
					7.5%	
Dependiente	Mortero	Comportamiento mecánico del mortero sometido al fuego	-Resistencia a la compresión -Resistencia a flexión -Micro fisuras	Kg/cm ²	-	NTP 334.051 NTP 339.621 I.N.V.E-324-07
		Comportamiento físico del mortero sometido al fuego	-Densidad en estado endurecido -Coloración -Adherencia - Durabilidad	Kg/m ³	-	NCH 2186. of92 NCH167

Tabla 14: Variables intervinientes

	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
Intervinientes	Temperatura de exposición al fuego	-	Temperatura de fuego	°C	500 750 1000	Termómetro ASTM E119
	Resistencia de mortero	-	Resistencia de diseño	Kg/cm ²	100	NTP 334.051
	Densidad	-	Peso unitario de mortero	Kg/m ³	-	NCH 2186. of92

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Técnicas:
 - Se hará in situ una observación directa para realizar apuntes y tomar conocimiento del hecho que acontece
- Instrumentos:
 - Normas técnicas
 - Cuaderno de apuntes

Procedimiento

Obtención de los materiales

Debemos de contar con los materiales adecuados para la realización de esta investigación, como el cemento, agregado fino, agua y vermiculita expandida, además de las balanzas y los demás instrumentos que nos brindan los laboratorios.

Ensayos físicos de agregado fino para el diseño de mezcla

Ensayo de granulometría de agregados

Se tendrá en cuenta la norma técnica peruana NTP 400.012 [35], la cual nos permite conocer el tamaño del agregado que estamos usando. Además, este ensayo es importante para el diseño de mezcla del mortero.

Arena fina:

Se selecciona una muestra que se colocó en una tara donde, después de lavarlo por la malla N°200 para que se eliminen las impurezas, se puso al horno durante 24 horas. Cuando haya transcurrido ese tiempo, se pesa el total y se realiza el tamizado por las mallas N°8 hasta la malla N°200



Figura 4: Lavado por la malla N°200



Figura 5: Muestra puesta al horno



Figura 6: Muestra seca puesta en balanza

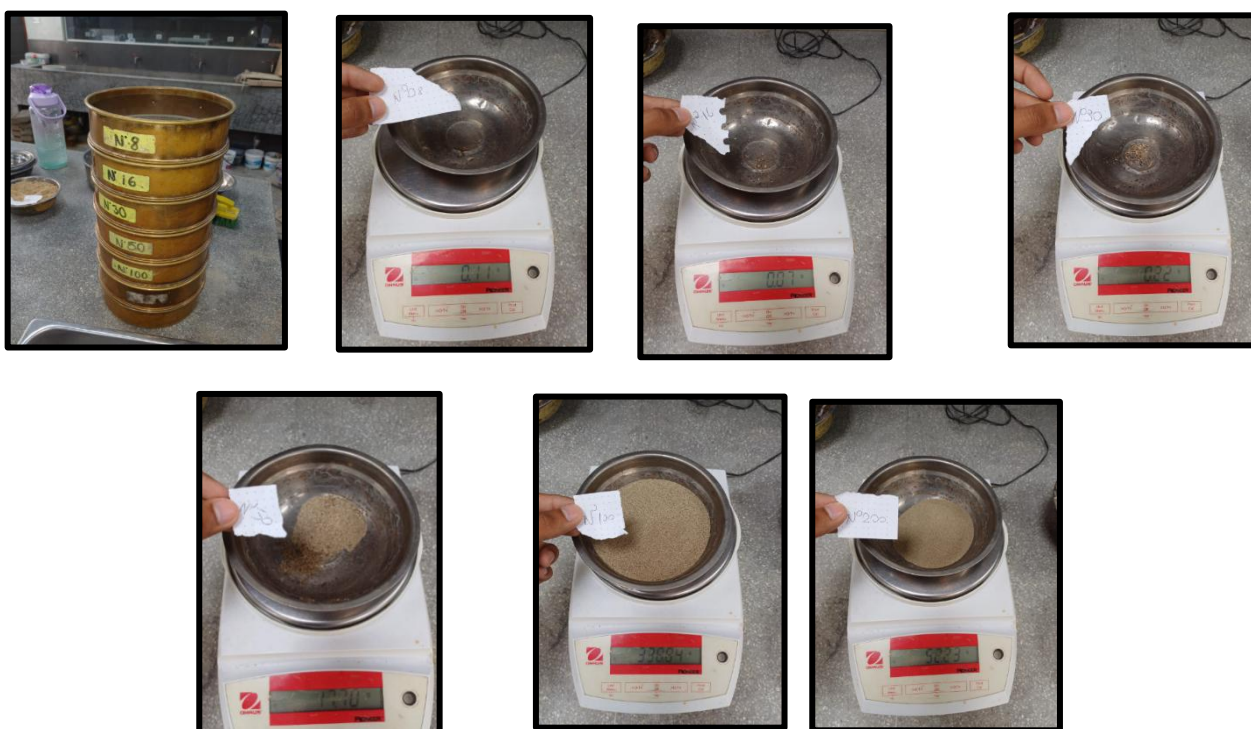


Figura 7: Tamizado de agregado fino por mallas N°08 hasta N°200

Peso unitario suelto seco

Se pesa el molde y se coloca la arena dentro del molde hasta llenarlo, luego enrasar y pesar. Se usó la norma N.T.P 400.017 [36].



Figura 8: Peso de agregado fino para ensayo de peso unitario suelto seco

Peso unitario seco compactado

La muestra debe ser compactada mediante una varilla que se usara 25 veces por cada capa de arena fina que se coloque. Además se usará un martillo de goma que servirá para golpear 15 veces el molde para eliminar el contenido de aire. Se usó la norma N.T.P 400.017 [36].



Figura 9: Peso de agregado fino para ensayo de PUSC

Contenido de humedad en la muestra de agregado fino

Se coloca una muestra del agregado fino en una tara, donde se coloca en la balanza para después ser puesta en un horno que mantenga una temperatura uniforme de 110°C (margen de 5°C). Se deja durante 24 horas y luego es pesada en la balanza. La diferencia de esos 2 pesos se divide entre el primero registrado y luego se multiplica por 100, para así obtener el contenido de humedad. Se usó la norma N.T.P 339.185 [37].



Figura 10: Ensayo de contenido de humedad

Peso específico y porcentaje de absorción

Se usó la norma N.T.P 400.022 [38] para realizar estos ensayos, donde el agregado fino se saturó con agua en 2 muestras, para luego de 24 horas, dejarlo expuesto al sol por 20 minutos. Después, se colocaron las 2 muestras en una fiola cada uno con 500 cm³ de agua. Se dejó reposando por 24 horas con el fin de que se asiente el agregado fino y libere el porcentaje de aire, para luego colocar las 2 muestras en el horno por 24 horas más. Luego de esto, se pesó y se realizaron los cálculos respectivos.



Figura 11: Muestras saturadas superficialmente



Figura 12: Peso del frasco



Figura 13: Peso de muestra saturada, agua y frasco



Figura 14: Peso de muestra seca

Realización de diseño de mezcla

Para hallar las cantidades de materiales a usar de mortero por m^3 (dosificación) se usó el manual de CAPECO en su edición actualizada de su título N°29 “Costos y Presupuestos de Edificación” [39].

Adición de vermiculita expandida

Para establecer la adición de vermiculita expandida se usó el peso por m^3 de la mezcla de mortero, donde se empleó este valor para hallar la cantidad de vermiculita en cada porcentaje elegido (2.5%, 5% y 7.5%).

Preparación del mortero

Para la realización del mortero se usó una batidora eléctrica debidamente equipada, donde se realizó la mezcla para el mortero patrón y para cada adición de vermiculita expandida.

Ensayos mecánicos para el mortero

Ensayo para verificación de diseño de mezcla

Se elaboró muestras para cada porcentaje de mortero con vermiculita expandida (0%, 2.5%, 5% y 7.5%). Donde en cada uno de los porcentajes se realizó 3 especímenes de 50mmx50mmx50mm para los 3 días, 7 días y 28 días según la NTP 334.051 [27].

- Mortero patrón (0% adición):
 - a) 3 días:



Figura 15: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero patrón a 3 días

b) 7 días:



Figura 16: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero patrón a 7 días

c) 28 días



Figura 17: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero patrón a 28 días

- Mortero con 2.5% de adición:

a) 3 días:



Figura 18: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 2.5% de adición a 3 días

b) 7 días:



Figura 19: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 2.5% de adición a 7 días

c) 28 días:



Figura 20: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 2.5% de adición a 28 días

- Mortero con 5% de adición

a) 3 días:



Figura 21: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 5% de adición a 3 días

b) 7 días:



Figura 22: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 5% de adición a 7 días

c) 28 días:



Figura 23: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 5% de adición a 28 días

- Mortero con 7.5% de adición

a) 3 días:



Figura 24: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 7.5% de adición a 3 días

b) 7 días:



Figura 25: Muestra N°01, N°02 y N°03 mortero con 7.5% de adición a 7 días

c) 28 días:



Figura 26: Muestra N°01, N°02 y N°03 de mortero con 7.5% de adición a 28 días

Ensayo de resistencia a la compresión

Se usó la norma técnica peruana NTP 334.051 [27]. Debemos de formar especímenes de 50mm de lado, donde estos se llevarán a una máquina que la someterá a una carga axial, la cual nos arrojará un valor en kg y nosotros lo debemos dividir entre su área. Se realizará el ensayo post - quemado de los especímenes donde se sometió a temperaturas de 500°C, 750°C y 1000°C con 3 muestras para cada rango de temperatura en los diferentes porcentajes de adición.

$$f'c = \frac{\text{Carga axial (kgf)}}{\text{Área (cm}^2\text{)}}$$

Ecuación 1: Fórmula para hallar la resistencia a compresión de especímenes de mortero de 50x50x50mm



Figura 27: Especímenes de 0%, 2.5%, 5% y 7.5% antes de ser sometidos en un horno artesanal a diferentes rangos de temperatura (500°C y 750°C y 1000°C)

Ensayo de resistencia a flexión

Se realizó este ensayo para determinar la resistencia a flexión de los especímenes de mortero patrón y también de aquellas que contengan vermiculita expandida después de ser sometidos al fuego. Se usó la norma I.N.V.E – 324 - 07 [32], donde se usaron muestras de 4x4x16 cm y, tal como indica la norma, se empleó 3 muestras para cada diseño. En este caso se usó para los diferentes rangos de temperatura (500°C, 750°C y 1000°C) en cada porcentaje de adición de vermiculita expandida. Para calcular la resistencia a flexión se usó la siguiente fórmula:

$$S_f = 0.278 \times \text{Carga a flexión(kgf)}$$

Ecuación 2: Fórmula para hallar la resistencia a flexión expresada en kg/cm2

$$S_f = 0.0028 \times \text{Carga a flexión (N)}$$

Ecuación 3: Fórmula para hallar la resistencia a flexión expresada en MPa

Ensayos de micro fisuras

Se usará un prototipo, el cual serán muretes, para evaluar los daños que sufre el mortero cuando es sometido a ciertos grados de temperatura con una muestra patrón y aquellas que contengan vermiculita expandida. Las medidas de los muretes son de 60x60 cm, tal como indica la NTP 399.621 [31]. Además también indica que la cantidad mínima de especímenes es 3, en este caso se usó 4 muretes por cada porcentaje de adición. Por último, se asignó como rango de temperatura 500°C y 750° para el quemado de los muretes ya que, tal como indica Makrygiannis Ioannis et al. [33], a más de 850°C el ladrillo pierde materia orgánica. Entonces, para evitar que los especímenes sufran roturas se tomó una temperatura menor a la mencionada.



Figura 28: Muretes para micro fisuras mortero patrón



Figura 29: Muretes para micro fisuras con adición de 2.5%



Figura 30: Muretes para micro fisuras con adición de 5%



Figura 31: Muretes para micro fisuras con adición de 7.5%

Ensayos físicos para el mortero

Ensayo de fluidez de mortero en estado fresco

Se realizó este ensayo con el fin de corregir la cantidad de agua a usar en el diseño de mezcla. Se usó la NTP 334.057 [40], donde se usó todos los instrumentos mencionados en esta norma, como la mesa de flujo, pisón, espátula y regla. Las medidas que resultaron fueron mayores a 190mm.



Figura 32: Mezcla y colocación de mortero en mesa de fluidez

Ensayo de densidad del mortero en estado endurecido

En este ensayo se usó la norma NCH 2186. Of82 [28], esta nos indica que se mantendrá bajo agua las probetas por 3 días antes del ensayo, luego se realizarán pesajes cuando la muestra esté sumergida bajo el agua, después de ser secada con un paño húmedo y al ser secada en un horno por no menos de 72 horas. Estos valores se tomaron como “A”, “B” y “C” respectivamente. Al tenerlos se aplicó las siguientes fórmulas para ambas densidades:

Densidad real saturada

$$p_{ss} = \frac{B}{B - A} (pw)(10^3), kg/m^3$$

Ecuación 4: Fórmula de densidad real saturada

Densidad real seca

$$p_s = \frac{C}{B - A} (pw)(10^3), kg/m^3$$

Ecuación 5: Fórmula para densidad real seca

donde:

pw: Densidad del agua en g/cm³

- Mortero patrón (0% de adición)
 - a) Cálculo de peso sumergido bajo agua de las muestras (A)



Figura 33: Peso de muestras sumergidas al agua mortero patrón (A)

b) Cálculo de peso de muestras secada superficialmente por paño húmedo (B):

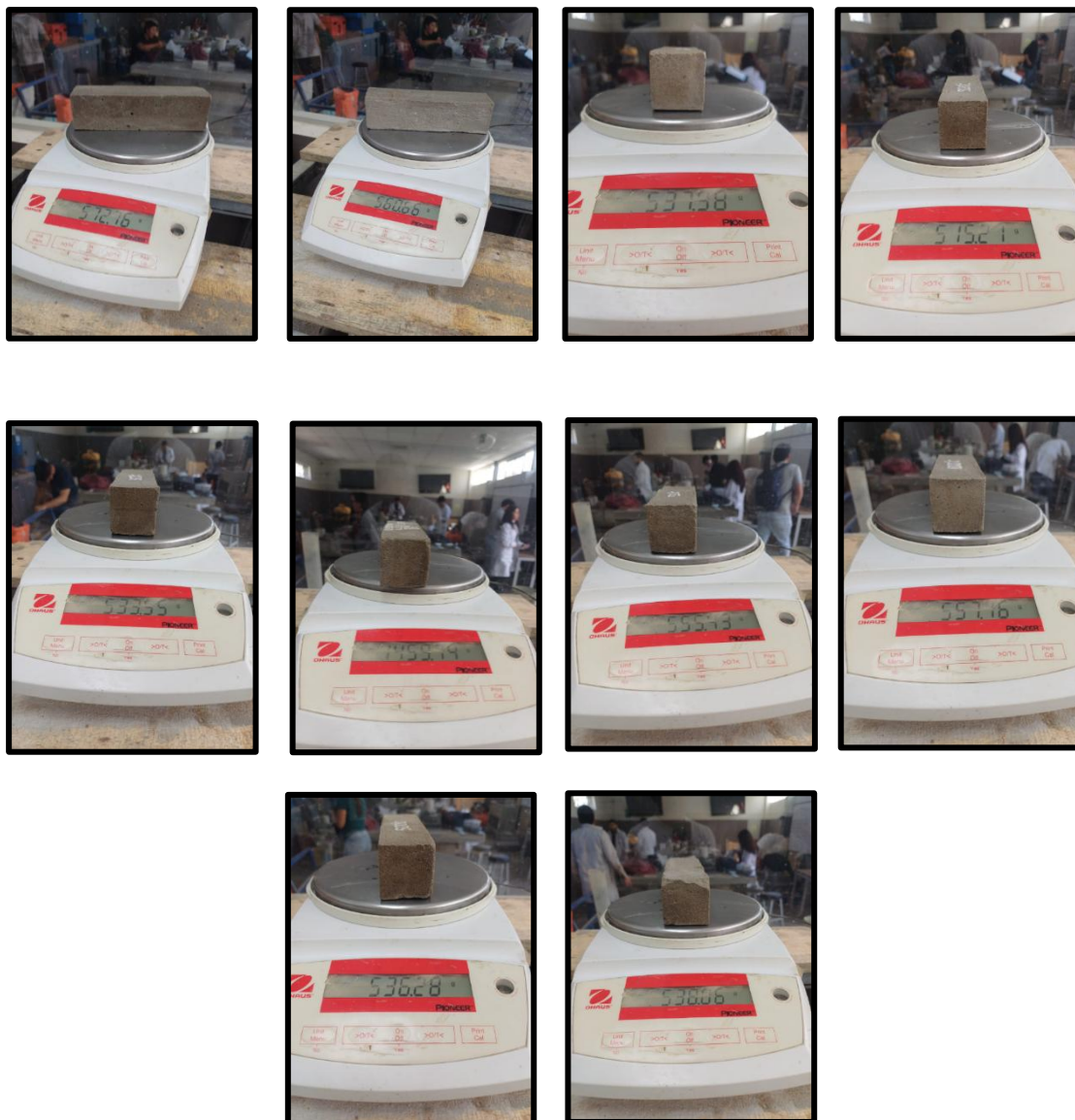


Figura 34: Peso de muestras secadas superficialmente mortero patrón (B)

c) Cálculo del peso de muestras secadas al horno (C):

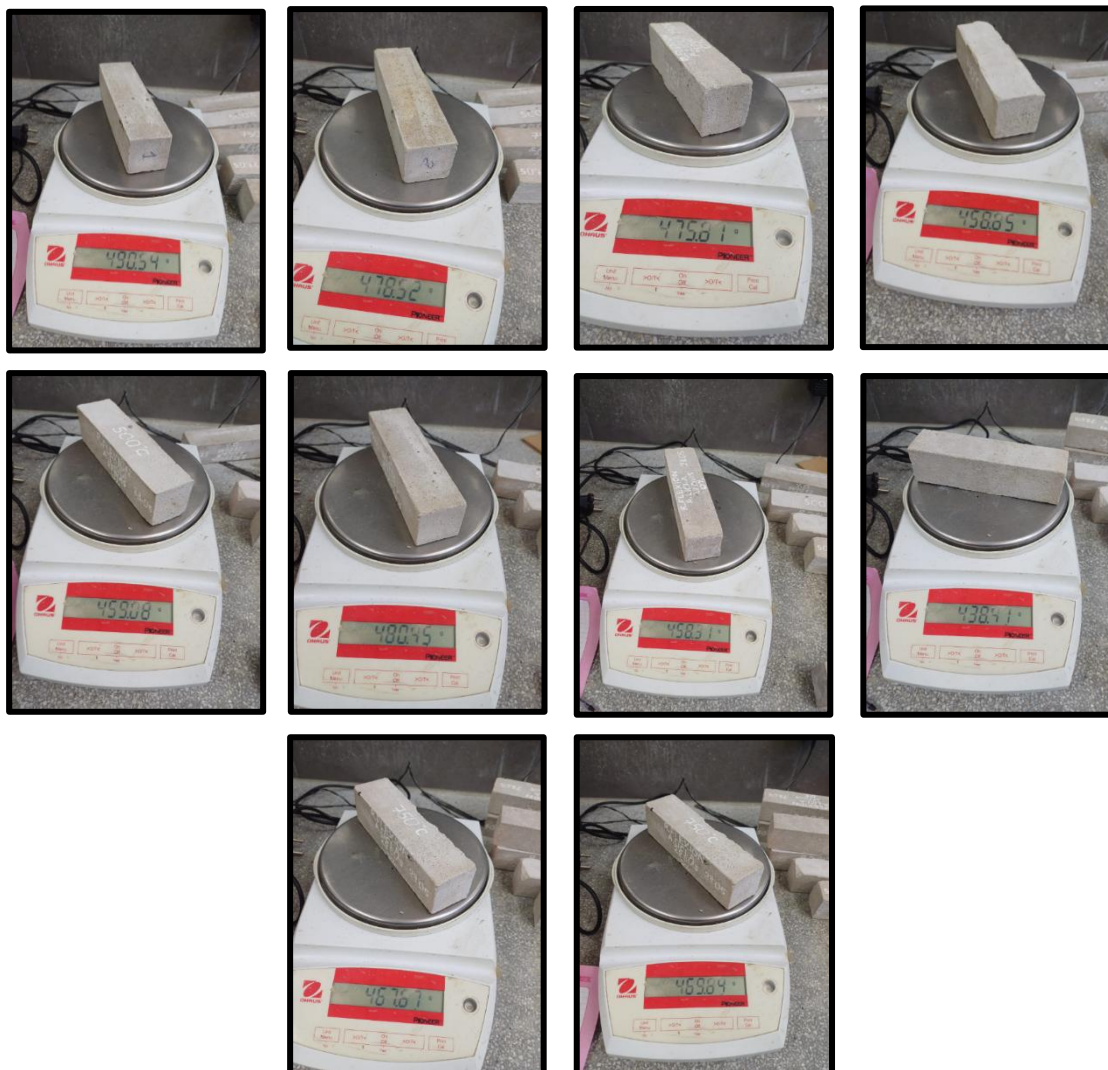


Figura 35: Peso de muestras secadas al horno de mortero patrón (C)

- Mortero con 2.5% de adición:

a) Cálculo de peso sumergido bajo agua de las muestras (A)



Figura 36: Peso de muestras sumergidas al agua de mortero con 2.5% de adición (A)

b) Cálculo de peso de muestras secada superficialmente por paño húmedo (B):

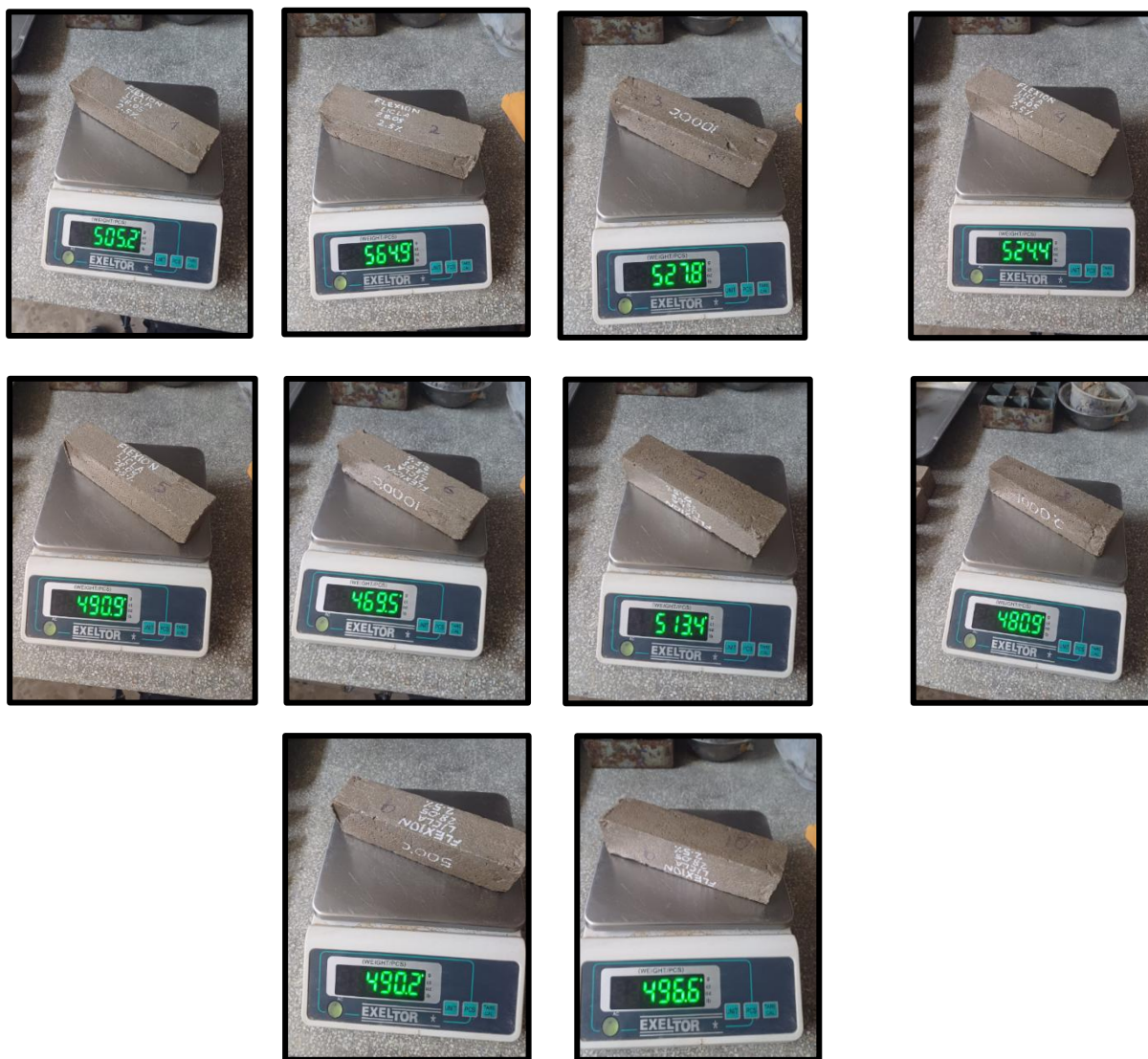


Figura 37: Peso de muestras secadas superficialmente de mortero con 2.5% de adición (B)

c) Cálculo de peso de muestras secadas al horno (C):



Figura 38: Peso de muestras secadas al horno con 2.5% de adición

- Mortero con 5% de adición:

a) Cálculo de peso sumergido bajo agua de las muestras (A)

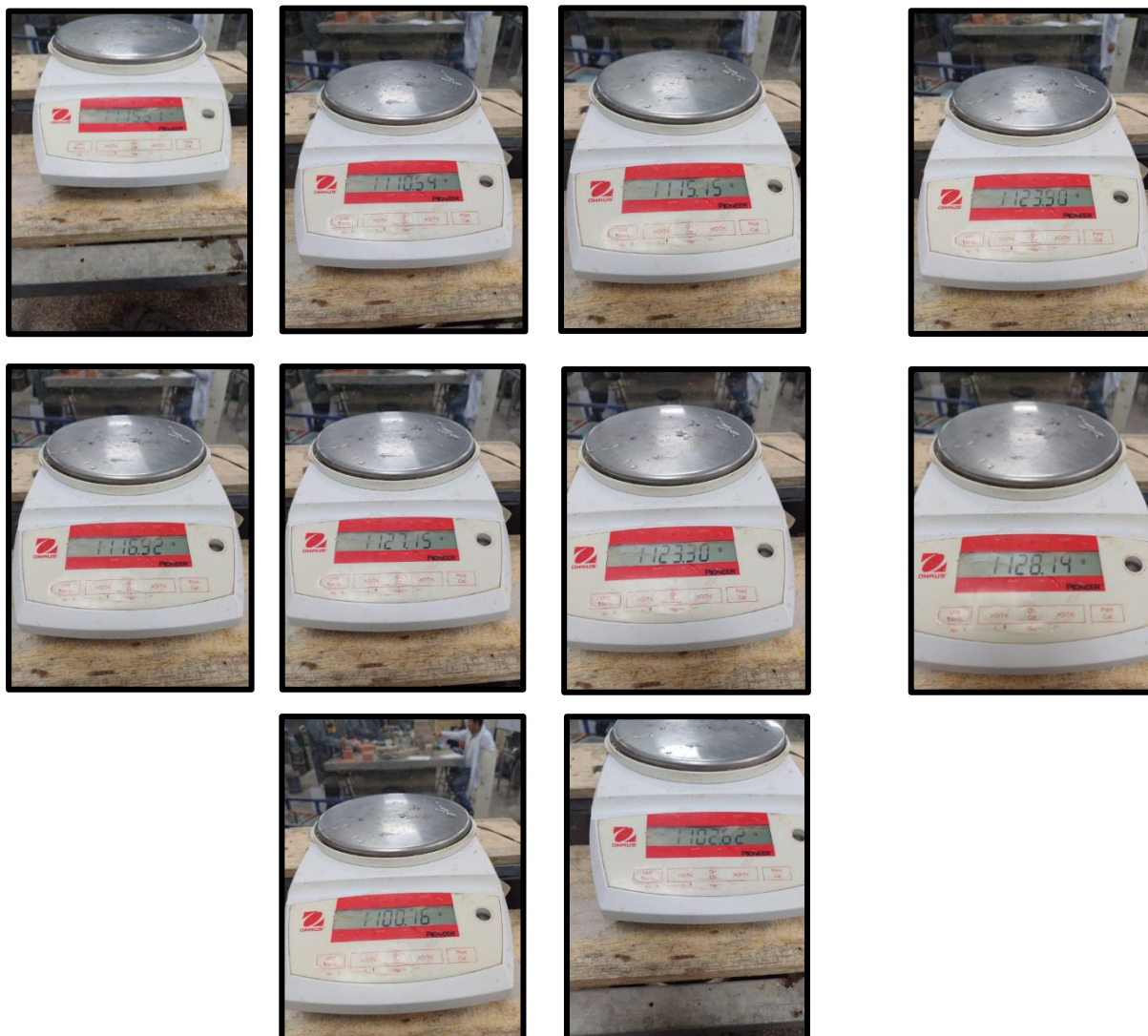


Figura 39: Peso de muestras sumergidas al agua con 5% de adición

b) Cálculo de peso de muestras secada superficialmente por paño húmedo (B):

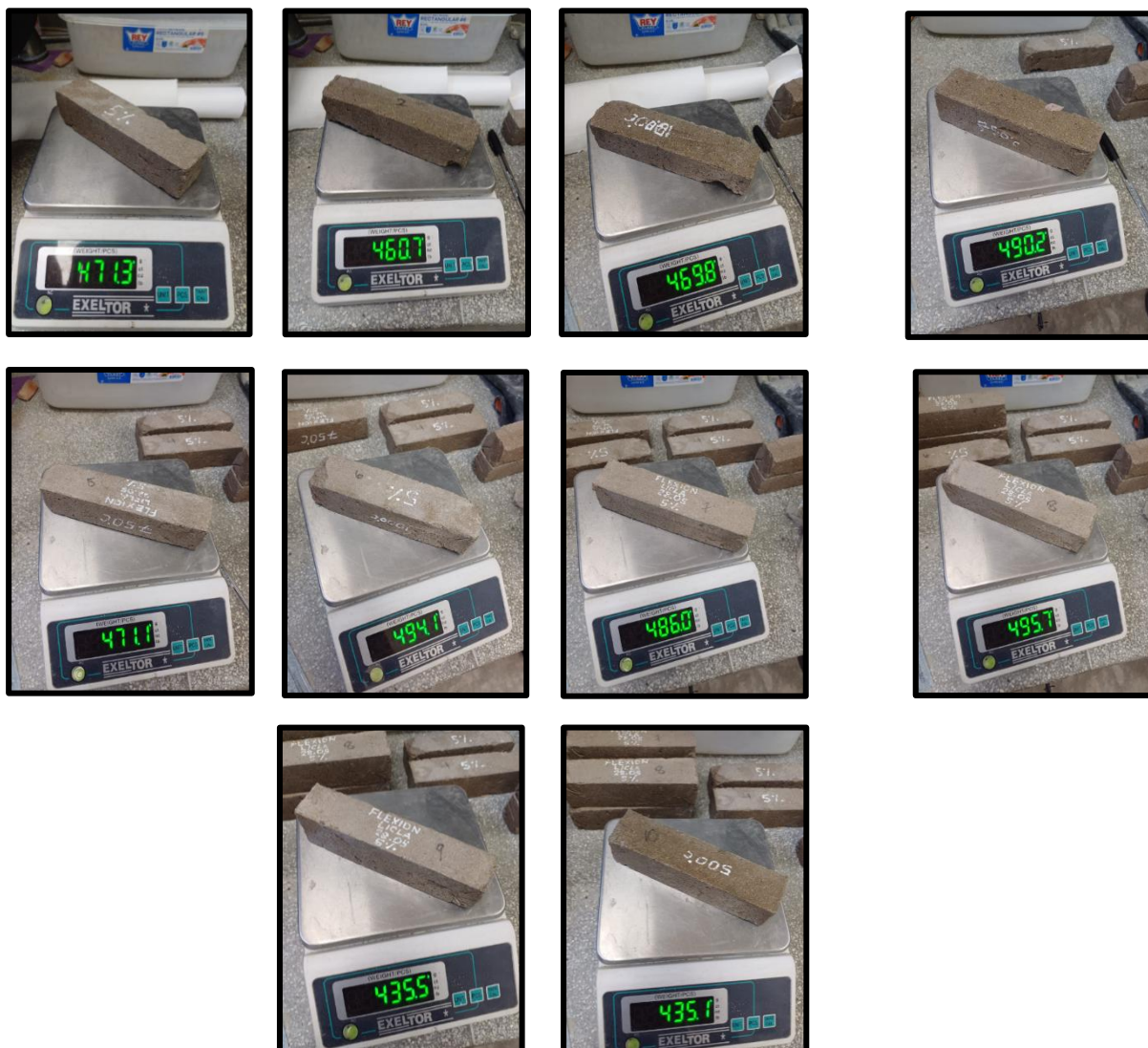


Figura 40: Peso de muestras secadas superficialmente con 5% de adición

c) Cálculo de peso de muestras secadas al horno (C):



Figura 41: Peso de muestras secadas al horno con 5% de adición

- Mortero con 7.5% de adición:

a) Cálculo de peso sumergido bajo agua de las muestras (A):



Figura 42: Peso de muestras sumergidas en el agua con 7.5% de adición

b) Cálculo de peso de muestras secadas superficialmente (B):

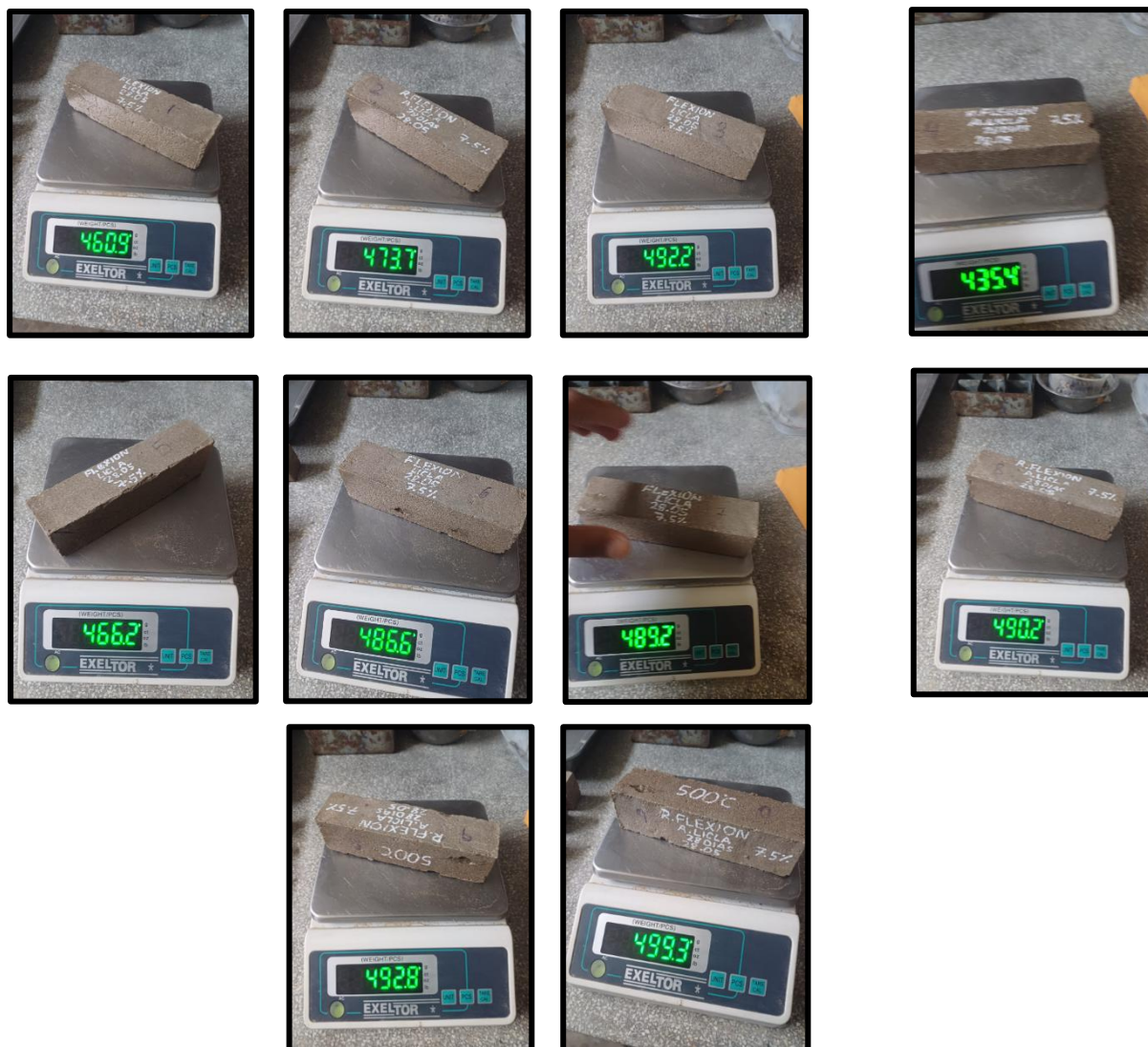


Figura 43: Peso de muestras secadas superficialmente con 7.5% de adición

c) Cálculo de peso de muestras secadas al horno (C):



Figura 44: Peso de muestras secadas al horno con una adición de 7.5%

Ensayos de coloración post – quemado de los muretes

Se realizarán estos ensayos utilizando un prototipo (murete) que será sometido a diferentes rangos de temperatura (500°C y 750°C), donde se realizó estos rangos de temperaturas basándonos en Makrygiannis Ioannis et al. [33], y así poder evaluar cómo se comporta bajo el fuego. Para todos los ensayos de fuego, se usará un horno artesanal ubicado en la Avenida Dorado 2955 en el distrito de José Leonardo Ortiz.



Figura 45: Muretes asentados antes de tarrajear con mortero patrón y con adición de vermiculita expandida



Figura 46: Muretes con recubrimiento de mortero patrón y con adición de vermiculita expandida

Ensayo de adherencia de mortero

Se usó la norma NCH 167. Of2001 [30], que indica que se usarán pilas (3 ladrillos pegados por el mortero a ensayar) con una cantidad mínima de 6 probetas por cada muestra. Además, como los ladrillos se someterán al fuego junto al mortero, se usará la misma premisa que se citó en el ensayo de micro fisuras, determinando que, según indica Makrygiannis Ioannis et al. [33], las temperaturas a ensayar serán 500°C y 750°C.

Figura 47: Lugar de ensayos de fuego



Resultados

Resultados del ensayo de granulometría de agregado fino

N° de malla	Abertura	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
	mm	g	%	%	%
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
N° 04	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0
N° 08	2.360	0.11	0.0	0.0	100.0
N° 16	1.180	0.07	0.0	0.0	100.0
N° 30	0.600	0.22	0.0	0.1	99.9
N° 50	0.300	17.70	3.5	3.6	96.4
N° 100	0.150	338.84	67.8	71.4	28.6
N° 200	0.075	52.23	10.4	81.8	18.2
Fondo		90.8	18.2	100.0	0.0

MF =	1.57
------	------

Tabla 15: Datos de ensayos de granulometría del agregado fino

El agregado fino con el que se realizó la investigación proviene de la Cantera “Pátapo La Victoria”, ubicada en Pátapo, Lambayeque. En la Tabla 14 se detalla el módulo de fineza que será de mucha relevancia para el diseño de mezcla del mortero. Además, se realiza este cálculo teniendo en cuenta los parámetros que exige la N.T.P. 400.012 [35].

Resultado del ensayo de peso unitario seco suelto del agregado fino

Se obtuvo como resultado de las 02 muestras analizadas un peso unitario seco suelto promedio de 1363.08 kg/m³

Tabla 16: Valores de ensayo de peso unitario seco suelto de agregado fino:

Peso del molde: 10050 g
Alto del molde: 30.5 cm
Diámetro del molde: 15.2 cm
Volumen del molde: 0.00553 m³

Muestra	Peso de la muestra más el molde	Peso de la muestra		Peso Unitario Promedio
	g	g	kg	Kg/m ³
N°01	17666	7616	7.616	1363.08
N°02	17655	7605	7.605	

Resultado del ensayo de peso unitario seco compactado del agregado fino

Se obtuvo como resultado de las 02 muestras analizadas un peso unitario seco compactado promedio de 1540.99 kg/m³

Tabla 17: Valores de ensayo de peso unitario seco compactado del agregado fino

Peso del molde: 10050 g
Alto del molde: 30.5 cm
Diámetro del molde: 15.2 cm
Volumen del molde: 0.00553 m³

Muestra	Peso de la muestra más el molde	Peso de la muestra		Peso Unitario Promedio
	g	g	kg	Kg/m ³
N°01	18661	8611	8.611	1540.99
N°02	18648	8598	8.598	

Resultado del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Se obtuvo como resultado que el peso específico del agregado fino fue de 1.870 g/cm^3 y su absorción de 4.74 %. Los datos utilizados se registran en la siguiente tabla:

Tabla 18: Datos del agregado fino para el cálculo del peso específico y porcentaje de absorción

Datos de arena	M1	M2
1.Peso de la Muestra Sat. Sup. Seca (g)	536.1	521.4
2.Peso de la Muestra Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua (g)	1054.1	988.1
3.Peso de la Muestra Sat. Sup. Seca + Peso frasco (g)	686.5	736.6
4.Peso del agua (g)	367.6	251.5
5.Peso del frasco (g)	150.4	215.2
6.Peso de la Muestra secada a horno + Peso de frasco (g)	674.6	739.6
7.Peso de la Muestra seca en el horno (g)	528.5	521.0
8.Volumen del frasco (g)	500	500

Resultados	Promedio
Peso específico de la arena	2.755 g/cm^3
Peso específico de la masa S.S.S	2.625 g/cm^3
Peso específico aparente	2.438 g/cm^3
Porcentaje de absorción	0.76 %

Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino

Se obtuvo un resultado de 0.59 % para el contenido de humedad del agregado grueso. Los datos trabajados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19: Datos del cálculo de contenido de humedad del agregado fino

Peso de muestra húmeda	377.82	g
Peso de muestra seca	375.61	g
Contenido de humedad	0.59	%

Especificación de características de vermiculita expandida

Al tener una adición de agregado en la mezcla del mortero, es necesario conocer los principales componentes y características que posee la vermiculita con el fin de tener una noción básica de dicho material. Según Maruplast [41], nos indica las propiedades y características más importantes que brinda la vermiculita.

Tabla 20: Características de vermiculita expandida

CARACTERÍSTICAS		DETALLES		MÉTODO DE PRUEBA
Procedencia		Brasil		
Composición química		SiO ₂	30 – 45%	Fusión con piruto sulfito de potasio y determinación por EAA
		Al ₂ O ₃	5 – 15%	
		Fe ₂ O ₃	4 – 17%	
		K ₂ O	0 – 0.4%	
		CaO	0 – 1.5%	
		MgO	15 – 30%	
		Na ₂ O	0 – 1.5%	
		H ₂ O	0 – 5%	
Apariencia		Gránulos en estado sólido, de color beige a dorado		
Densidad aparente (kg/m ³)		Micrón		TVA 107 - 99
		166		
Rendimiento en volumen (m ³ /t)		Min. 5		TVA 108 – 99
Contenido de vermiculita (%)		Min. 83		TVA 109 – 99
Distribución granulométrica	Tamiz (mm)	Valores estándar		TVA 105 – 99
	1.19	0 – 1 %		
	0.60	5 – 30%		
	0.30	25 – 75%		
	0.15 – 0.30	10 – 30%		
	< 0.15	5 – 15%		
pH		7		
Salinidad		No salino		
Solubilidad		No soluble en disolventes orgánicos		
Presencia de asbestos		No presenta asbestos		
Pérdida de ignición		Máx. 10% de su peso		

Combustibilidad	Incombustible
-----------------	---------------

Diseño de mezcla del mortero

Para la elaboración del diseño de mezcla se usó mediante lo establecido por una edición actualizada de “Costos y Presupuestos de Edificación” de CAPECO [39]. El mortero se diseñó para una resistencia a la compresión de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Para llegar a lo establecido se procedió a hacer la verificación mediante las proporciones, donde se comenzó con la dosificación de 1:4 y una relación de $a/c = 0.72$ tal y como indica el manual ya mencionado de CAPECO. Con estos datos se realizaron todos los cálculos pertinentes para determinar el diseño de mezcla, obteniendo la cantidad de materiales por m^3 de mortero:

$$\text{Cemento} = 319.367 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 1167.011 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 229.94 \text{ lt/m}^3$$

También se halló las dosificaciones en peso:

Tabla 21: Dosificación del mortero en peso

C	AF	Agua	Al
1.00	3.65	30.6	

llegar a la resistencia teórica mediante esta dosificación y relación de a/c , se procedió a realizar los ensayos correspondientes.

Adición de vermiculita expandida en la mezcla:

La adición de vermiculita expandida se dará mediante el peso total de la mezcla a través de unos porcentajes que serán 2.5%, 5% y 7.5%.

$$VE_{2.5\%} = (\text{Cemento} + \text{Agregado Fino} + \text{Agua}) * 2.5\%$$

$$VE_{2.5\%} = (319.367\text{kg/m}^3 + 1167.011\text{kg/m}^3 + 229.94\text{kg/m}^3) * 2.5\%$$

$$VE_{2.5\%} = 42.908 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 6: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 2.5% por 1m^3

$$VE_{5\%} = (\text{Cemento} + \text{Agregado Fino} + \text{Agua}) * 5\%$$

$$VE_{5\%} = (319.367\text{kg/m}^3 + 1167.011\text{kg/m}^3 + 229.94\text{kg/m}^3) * 5\%$$

$$VE_{5\%} = 85.816 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 7: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 5% por 1m^3

$$VE_{7.5\%} = (\text{Cemento} + \text{Agregado Fino} + \text{Agua}) * 7.5\%$$

$$VE_{7.5\%} = (319.367 \text{kg/m}^3 + 1167.011 \text{kg/m}^3 + 229.94 \text{kg/m}^3) * 7.5\%$$

$$VE_{7.5\%} = 128.724 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 8: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 7.5% por 1m³

Se realizó un resumen en el siguiente cuadro donde se puede observar de forma más detallada y precisa la cantidad de material a usar para cada porcentaje

Tabla 22: Cantidad de materiales para cada adición de vermiculita

Materiales por 1m ³ de mortero	Porcentaje de vermiculita expandida			
	0%	2.5%	5%	7.5%
Cemento (kg/m ³)	319.367	319.367	319.367	319.367
Agregado Fino (kg/m ³)	1167.011	1167.011	1167.011	1167.011
Agua (litros/m ³)	229.94	229.94	229.94	229.94
Vermiculita expandida (kg/m ³)	0	42.908	85.816	128.724

Ensayo de resistencia a la compresión con el fin de verificar el diseño de mezcla

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión para verificar el cumplimiento del diseño de mezcla del mortero patrón y de sus porcentajes de adiciones correspondientes a los 3, 7 y 28 días. En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 23: Resultados de ensayo a compresión para verificar diseño de mezcla de mortero al 0% de adición

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Área	Carga	f'c	Promedio
N°		vaciado	ensayo		cm2	(P) (kg)	(kg/cm2)	
01	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	28/04/24	3 días	25.0	1727.9	69	95
02	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	28/04/24		25.0	2895.9	116	
03	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	28/04/24		25.0	2468.3	99	
04	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	02/05/24	7 días	25.0	2208.1	88	94
05	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	02/05/24		25.0	2373.9	95	
06	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	02/05/24		25.0	2487	99	
07	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	23/05/24	28 días	25.0	1618.4	65	110
08	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	23/05/24		25.0	3121.8	125	
09	Mortero 100 kg/cm2	25/04/24	23/05/24		25.0	3524.9	141	

En la Tabla 23 se registra que el promedio de las 3 muestras sometidas a la resistencia a compresión del mortero patrón a los 28 días fue de 110 kg/cm², obteniendo un 10% más de lo diseñado (f'c diseño = 100 kg/cm²). Se realizó una tabla comparativa donde se muestra la resistencia teórica y resistencia real del mortero patrón

Figura 48: Comparación gráfica entre $f'c$ teórica y $f'c$ real del mortero patrón

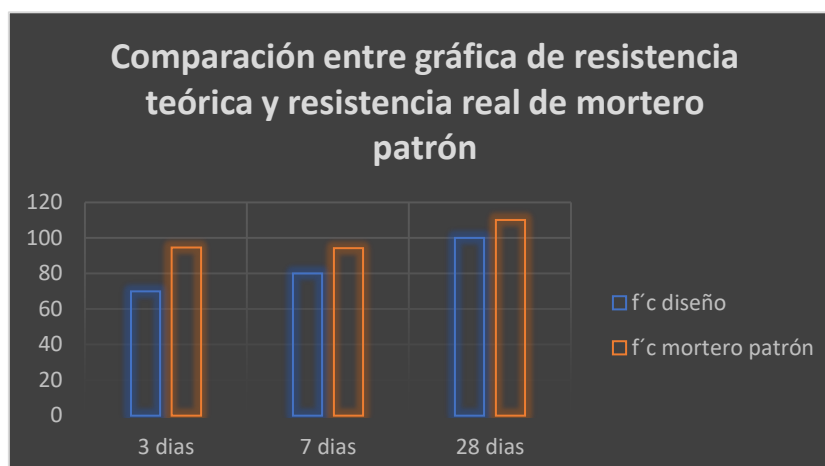


Tabla 24: Resultados de ensayo a compresión para verificar el diseño de mezcla de mortero al 2.5% de adición

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24	3 días	25.0	772.9	31	34
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	774.6	31	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	1000.3	40	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24	7 días	25.0	989.8	40	32
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	760.2	30	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	684.6	27	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24	28 días	25.0	1299.9	52	41
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	769.1	31	
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	977.8	39	

En la Tabla 24 se observa que la resistencia a compresión del mortero con 2.5% baja considerablemente llegando hasta un 60% por debajo del mortero patrón. Cabe recalcar que los especímenes que se realizaron para estos ensayos presentaron pequeñas fisuras debido a la porosidad que genera la vermiculita. La resistencia final a compresión fue de 41 kg/cm²

Tabla 25: Resultados de ensayo a compresión para verificar el diseño de mezcla de mortero al 5% de adición

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Dias	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f'c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24	3 dias	25.0	506.1	20	24
02	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	699.7	28	
03	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	608.3	24	
04	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24	7 dias	25.0	863.6	35	35
05	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	857.5	34	
06	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	874.9	35	
07	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24	28 dias	25.0	1358.3	54	49
08	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	1068.3	43	
09	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	1279.1	51	

En la Tabla 25, se observa que también hay una disminución de la resistencia a compresión si la comparamos con el mortero patrón. En este caso, la reducción es en un 50% y, de igual forma que en los especímenes con adición del 2.5%, hubo fisuras que pudieron afectar el ensayo. La resistencia final a compresión fue de 49 kg/cm².

Tabla 26: Resultados de ensayo a compresión para verificar el diseño de mezcla de mortero al 7.5% de adición

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Dias	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f'c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24	3 dias	25.0	660	26	27
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24		25.0	790	32	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24		25.0	580	23	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24	7 dias	25.0	605.8	24	24
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24		25.0	596	24	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24		25.0	629.3	25	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24	28 dias	25.0	907.3	36	41
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24		25.0	1021.7	41	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24		25.0	1000	45	

En la Tabla 26 también se aprecia una reducción (60%) de la resistencia a compresión a los 28 días del mortero al 7.5% de adición respecto al mortero patrón. La resistencia final a compresión fue de 41 kg/cm².

Ensayo de resistencia a compresión de mortero con porcentajes de adición de vermiculita expandida a diferentes rangos de temperatura

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión de los especímenes de 50x50x50 mm del mortero patrón y de aquellos con adición al 2.5%, 5% y 7.5% de vermiculita expandida, donde 3 testigos fueron sometidos al fuego para cada rango de temperatura (500°C, 750°C y 1000°C) en un rango de tiempo de exposición de 5 – 20 minutos. Las muestras que fueron sometidas a la temperatura más alta presentaron exudación y grietas al término de la exposición al fuego. A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes.

Tabla 27: Resistencia a compresión de los especímenes de 50x50x50mm del mortero al 0% (patrón) sometidos a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Área	Carga	Temp.	f'c	Promedio
N°		vaciado	ensayo		cm2	(P) (kg)	°C	(kg/cm2)	
01	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24	28 días	25.0	1970	500 °C	79	76
02	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	2190		88	
03	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	1510		60	
04	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	1420	750 °C	57	66
05	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	1960		78	
06	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	1600		64	
07	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	890	1000 °C	36	36
08	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	880		35	
09	Mortero 100kg/cm2	17/05/24	14/06/24		25.0	910		36	

En la Tabla 27 se puede observar que el fuego a 500°C, 750°C y 1000°C degradó a todos los especímenes, reduciendo su f'c en un 14.5%, 40% y 67% respectivamente en comparación con la resistencia a compresión real.

Tabla 28: Resistencia a compresión de los especímenes de 50x50x50mm del mortero al 2.5% de adición sometidos a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área cm2	Carga (P) (kg)	Temp. °C	f'c (kg/cm2)	Promedio
01	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24	28 días	25.0	1800	500 °C	72	69
02	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1530		61	
03	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1840		74	
04	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1720	750 °C	69	68
05	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1970		79	
06	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1390		56	
07	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	900	1000 °C	36	41
08	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	940		38	
09	Mortero +2.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1220		49	

En la Tabla 28 se muestran la resistencia a compresión del mortero con adición de 2.5% de vermiculita expandida a 500°C, 750°C y 1000°C, donde se puede determinar que a 750°C y 1000°C, el f'c es superior al del mortero con 0% de adición (patrón) a la misma temperatura.

Tabla 29: Resistencia a compresión de los especímenes de 50x50x50mm del mortero al 5% de adición sometidos a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área cm2	Carga (P) (kg)	Temp. °C	f'c (kg/cm2)	Promedio
01	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24	28 días	25.0	1690	500 °C	68	62
02	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1410		56	
03	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1550		62	
04	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1460	750 °C	58	58
05	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1070		43	
06	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1800		72	
07	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1240	1000 °C	50	54
08	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1030		41	
09	Mortero + 5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1760		70	

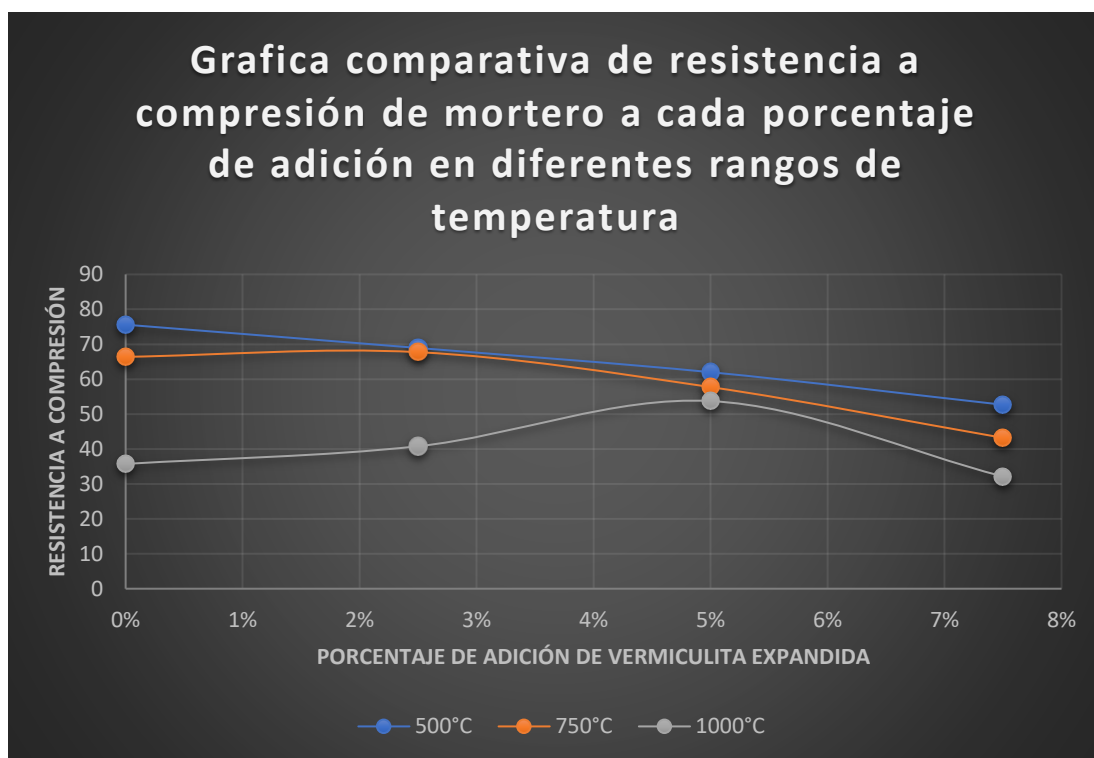
En la Tabla 29, se registra la resistencia a compresión de las muestras de mortero con adición del 5% de vermiculita expandida a 500°C, 750°C y 1000°C. Aquí se puede observar que para este porcentaje de adición, el $f'c$ baja un 15% en comparación a la resistencia a compresión del mortero con adición de 2.5% a una temperatura de 750°C.

Tabla 30: Resistencia a compresión de los especímenes de 50x50x50mm del mortero al 7.5% de adición sometidos a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Área	Carga	Temp.	f'c	Promedio
N°		vaciado	ensayo		cm2	(P) (kg)	°C	(kg/cm2)	
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24	28 días	25.0	1410	500 °C	56	53
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1330		53	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1210		48	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1220	750 °C	49	43
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	1040		42	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	980		39	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	860	1000 °C	34	32
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	730		29	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	17/05/24	14/06/24		25.0	820		33	

En la Tabla 30 se observa la resistencia a compresión de las muestras de mortero al 7.5% de adición después de ser sometido a 500°C, 750°C y 1000°C. Además, se muestra que estos son los valores más bajos en cuanto a $f'c$ comparando con las otras adiciones de vermiculita expandida. A continuación, se muestra una gráfica comparando la resistencia a compresión de los diferentes porcentajes de adición en cada rango de temperatura.

Figura 49: Grafica comparativa de resistencia a compresión de mortero a cada porcentaje de adición en diferentes rangos de temperatura



De la Figura 49 se puede destacar que, en el mortero con adición del 2.5% a una temperatura de 750°C, obtiene una mayor resistencia a la compresión que los demás porcentajes de adición. Por otro lado, el mortero con una adición del 5% a una temperatura de 1000°C, obtiene el mayor pico de resistencia a la compresión que el resto de adiciones. Por último, el mortero con 0% de adición obtuvo el f_c más elevado a una temperatura de 500°C.

Ensayo de densidad del mortero con diferentes porcentajes de adición de vermiculita

Se realizó el ensayo de densidad del mortero en estado endurecido en todas sus adiciones (0%, 2.5%, 5% y 7.5%). Hallamos la densidad real saturada y la densidad real seca y, para ello, se halló 3 valores los cuales son: peso de la probeta sumergida bajo el agua (A), peso de la probeta secada superficialmente (B) y peso de la probeta secada al horno (C). Los resultados de todos los pesos que se realizaron se muestran en las siguientes tablas:

*Densidad real saturada**Tabla 31: Resultados de densidad real saturada en estado endurecido del mortero al 0% de adición de vermiculita expandida (patrón)*

Muestra	Identificación	Peso canastilla	A	B	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero 100kg/cm2	895.88	291.99	572.76	2040.0	2044.83
02	Mortero 100kg/cm2		286.78	560.66	2047.1	
03	Mortero 100kg/cm2		276.64	537.98	2058.5	
04	Mortero 100kg/cm2		260.34	515.21	2021.5	
05	Mortero 100kg/cm2		274.17	533.55	2057.0	
06	Mortero 100kg/cm2		274.87	536.28	2051.5	
07	Mortero 100kg/cm2		275.14	538.06	2046.5	
08	Mortero 100kg/cm2		286.92	557.16	2061.7	
09	Mortero 100kg/cm2		284.13	555.43	2047.3	
10	Mortero 100kg/cm2		284.34	563.86	2017.2	

En la Tabla 31 se observa que, de las 10 muestras realizadas del mortero con 0% de adición (patrón), el promedio es 2044.83 kg/m³. Este dato fue comparado con el promedio de las densidades del mortero con adiciones al 2.5%, 5% y 7.5%.

Tabla 32: Resultados de densidad real saturada en estado endurecido del mortero al 2.5% de adición de vermiculita expandida

Muestra	Identificación	Peso canastilla	A	B	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	901.34	244.23	505.20	1935.9	1930.14
02	Mortero + 2.5% Vermiculita		271.53	564.90	1925.6	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita		254.00	527.80	1927.7	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita		249.17	524.40	1905.3	
05	Mortero + 2.5% Vermiculita		238.14	490.90	1942.2	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita		226.37	469.50	1931.1	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita		247.27	513.40	1929.1	
08	Mortero + 2.5% Vermiculita		231.50	480.90	1928.2	
09	Mortero + 2.5% Vermiculita		236.27	490.20	1930.5	
10	Mortero + 2.5% Vermiculita		241.40	496.60	1945.9	

En la Tabla 32 demuestra que, de las muestras realizadas para el mortero con 2.5% de adición, la densidad real saturada es 1930.14 kg/m³, un 5.6% menos que la densidad con 0% de adición.

Tabla 33: Resultados de densidad real saturada en estado endurecido del mortero al 5% de adición de vermiculita expandida

Muestra	Identificación	Peso canastilla	A	B	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero + 5% Vermiculita	898.03	217.34	471.30	1855.8	1864.73
02	Mortero + 5% Vermiculita		212.50	460.70	1856.2	
03	Mortero + 5% Vermiculita		217.12	469.80	1859.3	
04	Mortero + 5% Vermiculita		225.88	490.20	1854.6	
05	Mortero + 5% Vermiculita		218.89	471.10	1867.9	
06	Mortero + 5% Vermiculita		229.12	494.10	1864.7	
07	Mortero + 5% Vermiculita		225.27	486.00	1864.0	
08	Mortero + 5% Vermiculita		230.11	495.70	1866.4	
09	Mortero + 5% Vermiculita		202.73	435.50	1870.9	
10	Mortero + 5% Vermiculita		204.59	435.10	1887.6	

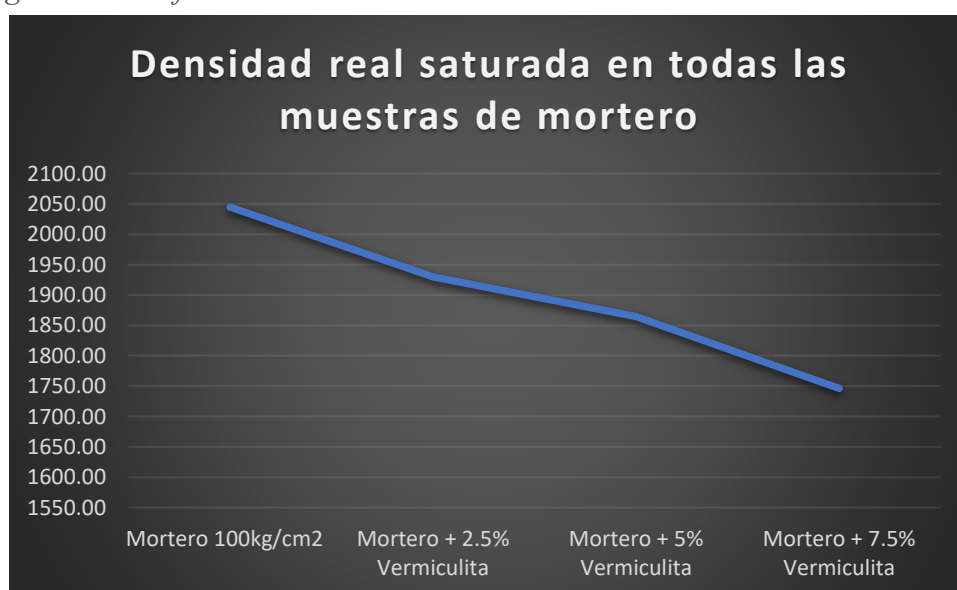
En la Tabla 33 se observa que, de las muestras con adición al 5%, la densidad real saturada promedio es 1864.73 kg/cm³, un 8.8% menos que el promedio de muestras de mortero al 0% de adición.

Tabla 34: Resultados de densidad real saturada en estado endurecido del mortero al 7.5% de adición de vermiculita expandida

Muestra	Identificación	Peso canastilla	A	B	pss	Promedio
N°					kg/m ³	
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	901.34	195.85	460.90	1738.9	1746.28
02	Mortero + 7.5% Vermiculita		198.64	473.70	1722.2	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita		205.09	492.20	1714.3	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita		188.88	435.40	1766.2	
05	Mortero + 7.5% Vermiculita		202.01	466.20	1764.6	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita		208.25	486.60	1748.2	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita		208.27	489.20	1741.4	
08	Mortero + 7.5% Vermiculita		209.68	490.20	1747.5	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita		212.17	492.80	1756.0	
10	Mortero + 7.5% Vermiculita		216.17	499.30	1763.5	

En la Tabla 34 se observa que, de las muestras realizadas con 7.5% de adición, la densidad real saturada promedio es 1746.28 kg/m³. Si la comparamos con el mortero con 0% de adición (patrón) es 15% menos.

Figura 50: Grafica de densidad real saturada en todas las muestras de mortero



*Densidad real seca**Tabla 35: Resultados de densidad real seca en estado endurecido del mortero al 0% de adición (patrón)*

Muestra	Identificación	A	B	C	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero 100kg/cm2	291.99	572.76	490.54	1747.1	1748.47
02	Mortero 100kg/cm2	286.78	560.66	478.52	1747.2	
03	Mortero 100kg/cm2	276.64	537.98	458.85	1755.8	
04	Mortero 100kg/cm2	260.34	515.21	438.41	1720.1	
05	Mortero 100kg/cm2	274.17	533.55	459.08	1769.9	
06	Mortero 100kg/cm2	274.87	536.28	458.31	1753.2	
07	Mortero 100kg/cm2	275.14	538.06	467.67	1778.8	
08	Mortero 100kg/cm2	286.92	557.16	480.45	1777.9	
09	Mortero 100kg/cm2	284.13	555.43	475.81	1753.8	
10	Mortero 100kg/cm2	284.34	563.86	469.84	1680.9	

En la Tabla 35 se observa que, de las muestras realizadas de mortero al 0% de adición, la densidad real seca promedio es de 1748.47 kg/m³. Este valor será comparado con las densidades de los otros porcentajes de adición de vermiculita expandida.

Tabla 36: Resultados de densidad real seca en estado endurecido del mortero al 2.5% de adición

Muestra	Identificación	A	B	C	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	244.23	505.20	439.60	1684.5	1651.72
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	271.53	564.90	487.80	1662.7	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	254.00	527.80	454.40	1659.6	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	249.17	524.40	445.70	1619.4	
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	238.14	490.90	416.10	1646.2	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	226.37	469.50	394.80	1623.8	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	247.27	513.40	434.60	1633.0	
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	231.50	480.90	412.40	1653.6	
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	236.27	490.20	422.00	1661.9	
10	Mortero + 2.5% Vermiculita	241.40	496.60	426.80	1672.4	

En la Tabla 36 se observa que, de las muestras de mortero al 2.5% de adición, la densidad real seca fue de 1651.72 kg/m³, si la comparamos con la densidad al 0% de adición, nos da que es menor en un 5.5%

Tabla 37: Resultados de densidad real seca en estado endurecido del mortero al 5% de adición

Muestra	Identificación	A	B	C	pss	Promedio
N°					kg/m³	
01	Mortero + 5% Vermiculita	217.34	471.30	411.21	1619.2	1583.77
02	Mortero + 5% Vermiculita	212.50	460.70	393.80	1586.6	
03	Mortero + 5% Vermiculita	217.12	469.80	400.93	1586.7	
04	Mortero + 5% Vermiculita	225.88	490.20	419.92	1588.7	
05	Mortero + 5% Vermiculita	218.89	471.10	402.70	1596.7	
06	Mortero + 5% Vermiculita	229.12	494.10	430.77	1625.7	
07	Mortero + 5% Vermiculita	225.27	486.00	405.82	1556.5	
08	Mortero + 5% Vermiculita	230.11	495.70	419.97	1581.3	
09	Mortero + 5% Vermiculita	202.73	435.50	356.76	1532.7	
10	Mortero + 5% Vermiculita	204.59	435.10	360.45	1563.7	

En la Tabla 37 se observa que, de las muestras de mortero al 5% de adición, la densidad real seca promedio fue de 1583.77 kg/m³, si la comparamos con la densidad al 0% de adición, resulta que es menor en un 9.5%.

Tabla 38: Resultados de densidad real seca en estado endurecido del mortero al 7.5% de adición

Muestra N°	Identificación	A	B	C	pss	Promedio
					kg/m ³	
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	195.85	460.90	362.00	1365.8	1384.63
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	198.64	473.70	378.30	1375.3	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	205.09	492.20	390.70	1360.8	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	188.88	435.40	346.10	1403.9	
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	202.01	466.20	366.40	1386.9	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	208.25	486.60	390.20	1401.8	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	208.27	489.20	395.50	1407.8	
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	209.68	490.20	389.50	1388.5	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	212.17	492.80	386.50	1377.3	
10	Mortero + 7.5% Vermiculita	216.17	499.30	390.20	1378.2	

En la Tabla 38 se observa que, de las muestras de mortero al 7.5% de adición, la densidad real seca fue de 1384.63 kg/m³, si la comparamos con el mortero al 0% de adición, resulta menor en un 20%

Figura 51: Gráfica de densidad real seca de todas las muestras de mortero



Ensayo de resistencia a flexión de mortero con porcentajes de adición de vermiculita expandida a diferentes rangos de temperatura

Se realizó el ensayo de resistencia a flexión de los especímenes de 16x4x4 cm del mortero patrón y de aquellos con adición al 2.5%, 5% y 7.5% de vermiculita expandida, donde 3 testigos fueron sometidos al fuego para cada rango de temperatura (500°C, 750°C y 1000°C) en un rango de tiempo de exposición de 5 – 20 minutos. Las muestras que fueron sometidas a la temperatura más alta presentaron exudación y grietas al término de la exposición al fuego. A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a flexión de los especímenes.

Tabla 39: Resistencia a la flexión de mortero patrón sometido a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Factor	Carga	Temp.	f'b	Promedio
N°		vaciado	ensayo						
01	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0382	770	500 °C	29	24
02	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			500		19	
03	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			650		25	
04	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			410	750 °C	16	15
05	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			410		16	
06	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			350		13	
07	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			380	1000 °C	15	14
08	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			370		14	
09	Mortero + 0% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			350		13	

En la Tabla 39, se registra la resistencia a flexión de las muestras de mortero patrón a 500°C, 750°C y 1000°C. Aquí se puede observar que la resistencia a la flexión es un 1/3 parte de la resistencia a la compresión del mortero patrón.

Tabla 40: Resistencia a la flexión del mortero con adición de 2.5% sometido a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Factor	Carga	Temp.	f'b	Promedio
N°		vaciado	ensayo		cm2	(P) (kg)	°C	(kg/cm2)	
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0382	440	500 °C	17	20
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			520		20	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			640		24	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			770	750 °C	29	25
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			690		26	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			490		19	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			300	1000 °C	11	15
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			340		13	
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			520		20	

En la Tabla 40 se muestra la resistencia a la flexión del mortero con 2.5% de adición de vermiculita expandida, donde se observa que, a 750°C, la resistencia alcanza un punto máximo para después decrecer cuando llega a 1000°C.

Tabla 41: Resistencia a la flexión del mortero con adición de 5% a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de	Fecha de	Días	Factor	Carga	Temp.	f'b	Promedio
N°		vaciado	ensayo		cm2	(P) (kg)	°C	(kg/cm2)	
01	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0382	470	500 °C	18	16
02	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			420		16	
03	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			380		15	
04	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			450	750 °C	17	18
05	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			490		19	
06	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			500		19	
07	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			610	1000 °C	23	22
08	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			480		18	
09	Mortero + 5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			610		23	

En la Tabla 41 se muestra la resistencia a flexión de las muestras de mortero con 5% de adición, arrojando que la máxima resistencia a flexión se da cuando la temperatura llega a 1000°C.

Tabla 42: Resistencia a la flexión del mortero con 7.5% de adición cuando es sometido a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Factor cm2	Carga (P) (kg)	Temp. °C	f'b (kg/cm2)	Promedio
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0382	540	500 °C	21	23
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			550		21	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			730		18	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			470	750 °C	18	18
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			450		17	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			500		19	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			400	1000 °C	15	15
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			370		14	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	25/05/24	28/06/24			400		13	

En la Tabla 42 se muestra las resistencias a la flexión de todas las muestras de mortero con 7.5% de adición de vermiculita, donde a 500°C se muestra el promedio mayor en comparación a las resistencias a la flexión de las demás temperaturas

Evaluación de micro fisuras del mortero

Se realizaron muretes con revestimiento de mortero sometidos a 500°C y 750°C, donde se evaluó las micro fisuras que sufrieron los prototipos. A continuación, se mencionará los resultados obtenidos post – quemado.

Muretes de mortero al 0% de adición

Estos muretes estuvieron a temperaturas de 500°C y 750°C, en la primera temperatura se evidenció que, en la cara del murete donde impactó el fuego directamente, se fisuró en un 40% aproximadamente, mientras que a los 750°C se fisuró en un 55% de la superficie afectada.

Muretes de mortero al 2.5% de adición

Los muretes con 2.5% de adición mostraron comportamientos diferentes en ambas temperaturas (500°C y 750°C) en comparación con el mortero patrón. A 500°C, mostró únicamente un desgaste en su superficie, sin evidencia de micro fisuras, mientras que a 750°C, mostró un 5% de fisuras en su superficie de impacto de fuego.

Muretes de mortero al 5% de adición

Estos muretes mostraron una resistencia mayor, ya que a 500°C y 750°C no mostró ninguna fisura de la superficie en contacto con el fuego.

Muretes de mortero al 7.5% de adición

Los muretes al 7.5% de adición mostró una respuesta similar a aquellos muretes con adición de 5%, donde las fisuras mostradas fueron nulas en toda la superficie que el fuego estuvo en contacto con el mortero de revestimiento.

Ensayo de coloración del mortero con porcentajes de adición de vermiculita expandida a diferentes rangos de temperatura

El mortero al ser sometido a 500°C, 750°C y 1000°C mostró un cambio de color que se alcanza a observar a simple vista. En los muretes realizados se pudo evidenciar este comportamiento físico.

Muretes de mortero patrón

Estos muretes de 60x60cm se sometieron a una temperatura de 500°C y 750°C donde se observó que, a la primera temperatura mencionada, alcanzó una coloración marrón formando un halo de forma circular, mientras que a los 750°C, se tornó una coloración rojiza tenue.

Muretes de mortero con 2.5% de adición

En los muretes con adición de 2.5% se pudo evidenciar que, al llegar a los 500°C, el mortero de tarrajeo se tornó de un color gris, mientras que a los 750°C se observó un color rosado

Muretes de mortero con 5% de adición

En los muretes con el porcentaje de adición de vermiculita expandida ya mencionado, se vio que los muretes sometidos a 500°C se tornaron de un color negro, y cuando se expusieron a una temperatura de 750°C, alcanzó un color rojo

Muretes de mortero con 7.5% de adición

Los muretes con 7.5% de adición se tornaron de color negro al llegar a los 500°C de temperatura, y aquellos que fueron sometidos a 750°C se tornaron de un color blanco en algunas zonas.

Ensayo de adherencia del mortero con porcentajes de adición de vermiculita expandida sometidos a diferentes rangos de temperatura

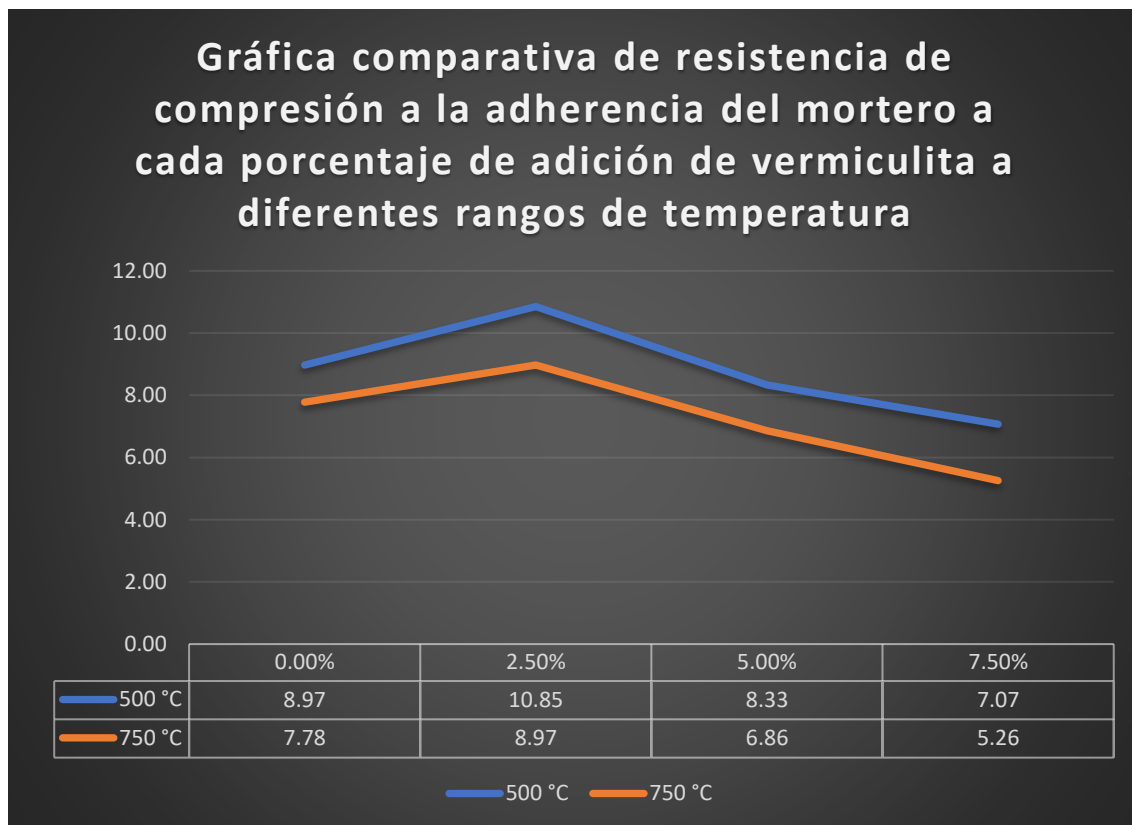
En este ensayo se evaluó la resistencia a la adherencia del mortero a cizalle en prisma de albañilería (pilas) en una máquina compresora, donde los porcentajes de adición fueron 0%, 2.5%, 5% y 7.5%, sometidos a 500°C y 750°C donde el tiempo de exposición al fuego fue de 5 – 20 minutos. A continuación se muestran los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 43: Resultados del ensayo de adherencia a cizalle del mortero a porcentajes de adición sometido a diferentes rangos de temperatura

Muestra	Identificación	Fecha de asentado	Fecha de ensayo	T° (C)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo a cizalle (kg/cm ²)	Promedio por T°
01	Mortero patrón	05/09/2024	03/10/2024	500	234	1980	8.5	8.97
02		05/09/2024	03/10/2024			2220	9.5	
03		05/09/2024	03/10/2024	750	234	2290	9.8	7.78
04		05/09/2024	03/10/2024			1350	5.8	
05	Mortero + 2.5% V.E	05/09/2024	03/10/2024	500	234	2170	9.3	10.85
06		05/09/2024	03/10/2024			2910	12.4	
07		05/09/2024	03/10/2024	750	234	1430	6.1	8.97
08		05/09/2024	03/10/2024			2770	11.8	
09	Mortero + 5% V.E	05/09/2024	03/10/2024	500	234	2300	9.8	8.33
10		05/09/2024	03/10/2024			1600	6.8	
11		05/09/2024	03/10/2024	750	234	1490	6.4	6.86
12		05/09/2024	03/10/2024			1720	7.4	
13	Mortero + 7.5 V.E	05/09/2024	03/10/2024	500	234	1620	6.9	7.07
14		05/09/2024	03/10/2024			1690	7.2	
15		05/09/2024	03/10/2024	750	234	1250	5.3	5.26
16		05/09/2024	03/10/2024			1210	5.2	

En la Tabla 43 se observa los resultados del ensayo de resistencia a la adherencia por cizalle del mortero con 0%, 2.5%, 5% y 7.5% sometido a 500°C y 750°C, donde el mortero con 2.5% obtiene los mejores valores en ambas temperaturas (10.85 kg/cm² y 8.97 kg/cm², respectivamente).

Figura 52: Gráfica comparativa de resistencia de compresión a la adherencia del mortero a cada porcentaje de adición de vermiculita a diferentes rangos de temperatura



En la Figura 52 nos muestra 2 gráficas lineales de la resistencia del mortero a la adherencia donde, se puede observar que en ambas temperaturas (500°C y 750°C), la máxima resistencia fue alcanzada cuando el mortero tuvo un porcentaje de adición de vermiculita de 2.5%.

Ensayo de durabilidad del mortero aplicando fenolftaleína con diferentes porcentajes de vermiculita expandida a diferentes temperaturas

Se evaluó la durabilidad del mortero aplicando fenolftaleína en su superficie para determinar aquellas muestras que se encuentran carbonatadas y aquellas que no lo están. Las muestras fueron cubos de 50x50x50mm y tuvieron los porcentajes de adición de 0%, 2.5%, 5% y 7.5%, donde fueron sometidos a temperaturas de 500°C, 750°C, 1000°C. A continuación, se detallará las características de las muestras.

Muestras sometidas a 500°C:

A esta temperatura, todas las muestras con 0%, 2.5%, 5% y 7.5% de adición no presentaron coloración rosada en la zona donde se aplicó fenolftaleína, esto nos quiere decir que se encuentran carbonatadas, por ende han sido afectadas por el fuego.

Muestras sometidas a 750°C:

Las muestras con 0% de adición que estuvieron expuestas al fuego a esta temperatura, presentaron una coloración rosada muy tenue (solo un 33% de las muestras mostraron reacción), el 66% de las muestras con adición de 2.5% presentaron una reacción ante la fenolftaleína que sí se evidenció de forma más clara, en cambio, las muestras con 5% de adición presentaron coloración ligera en casi toda la superficie. Por último, solo 1 muestra con 7.5% de adición presentó una coloración fuerte en toda su superficie.

Muestras sometidas a 1000°C:

Las muestras con 0% de adición presentaron una coloración tenue, mientras que las muestras adición de 2.5% presentaron zonas con una coloración fuerte y otras zonas mostraron una reacción sutil a la fenolftaleína, luego se evidenció que las muestras con 5% de adición tuvieron una coloración tenue. Por último, solo 1 muestra con 7.5% de adición mostro una reacción fuerte ante el reactivo en toda su superficie, mientras que las demás muestras apenas generaron una coloración ligera.

Discusión

Entre sus características, el principal componente que se encuentra en la vermiculita expandida que se usó en esta investigación fue el óxido de silicio (30% - 45%), algo que en la investigación de Ilana María da Silva Barros et al. [42] también menciona, indicando que este componente es el más abundante en la vermiculita (38% - 46%)

Los gráficos que se obtuvieron del ensayo de resistencia a compresión del mortero mostraron una mejora en las 2 más altas temperaturas que estuvo expuesto. A los 750°C, se observó que el porcentaje óptimo fue el mortero con adición de 2.5% de vermiculita expandida con una

mejora en un 2% al mortero patrón, sin embargo, a los 1000°C, el porcentaje que obtuvo una mayor resistencia a la compresión fue el mortero con adición de 5% con un porcentaje de mejora con respecto al mortero patrón de un 50%. Sin embargo, en la investigación de Ilana María da Silva Barros [9] indica que en todos sus porcentajes de reemplazo de vermiculita (25%, 50%, 75% y 100%) no hubo una mejora. También, P. Ashveen Kumar et al. indican que la mayor pérdida de resistencia a compresión se dio en un 20% porcentaje de reemplazo de vermiculita por agregado fino

En cuanto al ensayo de densidad del mortero, se calculó la densidad real saturada y seca, donde en ambas la densidad disminuía conforme se aumentaba el porcentaje de vermiculita expandida, el decrecimiento ocurrió hasta en un 15% y 21% respectivamente. Asimismo, indica P. Ashveen Kumar et al. en su investigación experimental [13], donde señala que a medida que los niveles de reemplazo van aumentando la densidad va disminuyendo drásticamente y finalmente al 100% de reemplazo es de 1300 kg/m³.

La evaluación de micro fisuras en los muretes con revestimiento del mortero patrón fue mínima, sin embargo, al 5% y 7.5% de adición no mostró ningún daño. Entonces, según los resultados obtenidos, se puede llegar a la teoría que la vermiculita brinda cohesión a la mezcla del mortero, al punto de que, a pesar de estar sometido al fuego, no muestra fisuras.

En la gráfica comparativa del ensayo de resistencia a la flexión se observa que, en las 2 temperaturas más altas en el que los especímenes de mortero estuvieron sometidos, se llegó a una mejora, obteniendo un 66% de mejora en el mortero con adición de 2.5% a los 750°C, y un 54% de mejora en el mortero con adición de 5% a los 1000°C. También, Ilana María Silva Barros [9] evaluó la resistencia a la flexión del mortero con reemplazo de la vermiculita por el agregado fino, sus resultados fueron decreciendo conforme aumentaba el porcentaje de reemplazo, teniendo únicamente un aumento de resistencia a los 7 días de curado con un porcentaje de reemplazo de 25%, obteniendo un 20% de mejora en comparación con el mortero patrón. También, P. Ashveen Kumar et al. señalan que, al 20% de reemplazo de arena por vermiculita expandida, la resistencia a la flexión disminuye en un 15% al mortero patrón, y con un 60% de reemplazo, esta disminuye a un 55%.

En el ensayo de adherencia se obtuvo un porcentaje óptimo de vermiculita en el mortero en ambas temperaturas ensayadas (750°C y 1000°C). Estos resultados se obtuvieron debido a que,

tal como también señala P. Ashveen Kumar et al. en su investigación, el aumento excesivo de vermiculita puede afectar negativamente en las propiedades del mortero. En este caso, se puede realizar la siguiente hipótesis: La vermiculita, al absorber gran cantidad de agua después de ser sometido al fuego, produce que su resistencia a la adherencia baje conforme se añada más a la mezcla del mortero, siendo un 2.5% de su peso lo óptimo a utilizar. También se evaluó la coloración del mortero después de estar sometido al fuego y, esta propiedad física nos da un indicio del estado del mortero. Tal como indica Culma Rodriguez, Cristian Camilo et al. en su investigación “Reconocimiento in situ de patologías del concreto”, la coloración nos puede indicar microfisuras, descarbonatación o fisuraciones térmicas [43]. Por último se evaluó la durabilidad del mortero aplicando fenolftaleína donde, debido a su reacción ante este agente químico, se puede llegar a la teoría de que la adición de vermiculita expandida evita de forma parcial la carbonatación del mortero a altas temperaturas, mientras que a bajas temperaturas como 500°C, no llega a tener el mismo efecto.

Conclusiones

La vermiculita expandida mejoró las propiedades mecánicas y físicas del mortero después de ser sometido al fuego, resaltando entre ellas la adherencia, durabilidad y resistencia a compresión.

En el ensayo de resistencia a la compresión, a 750°C el porcentaje óptimo fue de 2.5%, y a 1000°C el adecuado fue de 5%. Entonces, esto quiere decir que el porcentaje óptimo de vermiculita para las propiedades varía según el grado de temperatura a la que está sometido.

En las propiedades del mortero analizadas, aquellos que contenían un 7.5% de vermiculita expandida, exceptuando la durabilidad, se vieron severamente afectadas de forma negativa, a tal grado que resultó con resultados por debajo del mortero patrón.

En el ensayo de durabilidad se vio que, al 7.5% de adición y sometido a 1000°C, la carbonatación no se llegó a dar en las muestras de mortero, reflejando que la vermiculita brindó resistencia ante el carbono emitido por el fuego.

El diseño de mezcla elaborado fue el correcto para la resistencia a la compresión teórica que se propuso, donde las proporciones y relación de a/c fueron 1:4 y 0.72, respectivamente.

En el ensayo de densidad, conforme los porcentajes de adición aumentaban, la densidad real saturada y densidad real seca disminuían, esto quiere decir que la vermiculita traslada esta propiedad a la del mortero. Además, se puede concluir también que el mortero con vermiculita adquiere porosidad y, por ende, tiene mas contenido de aire que el mortero patrón. Esto hace que, en caso de ser usado en edificaciones, el peso de la estructura baje considerablemente y brinde menos carga a los elementos estructurales.

En el ensayo de resistencia a la flexión se vió un comportamiento parecido al ensayo de resistencia a compresión, donde a 750°C el porcentaje óptimo fue 2.5% y, a los 1000°C, el adecuado fue de 5% de adición. Esto nos da un indicio de que, en la propiedades mecánicas, el efecto de la vermiculita en el mortero es similar.

A los 500°C, el mortero patrón se comportó mucho mejor que aquellas que contenían adiciones de vermiculita expandida, esto quiere decir que, a dicha temperatura, no genera ningún efecto en la mezcla.

Recomendaciones

Se recomienda usar un aditivo plastificante, ya que la vermiculita expandida absorbe el agua de la mezcla y la vuelve seca, dificultando su proceso de elaboración de muestras.

Para zonas con un riesgo inminente de incendio, se recomienda usar el mortero aplicado al tarrajeo con una adición de vermiculita expandida del 5%. En cambio, para aquellos lugares que estarán expuestos a fuego constante como fábricas, se recomienda que el mortero tenga un 2.5% de adición.

Se recomienda evaluar diferentes porcentajes de adición, de tal manera de encontrar uno que pueda mejorar en mayor medida las propiedades físicas y mecánicas del mortero

Se recomienda contar con los equipos necesarios para elaborar los ensayos de fuego, como un termómetro láser y hornos que mantengan una temperatura constante, con el fin de realizar un estudio más exacto.

Se recomienda realizar el ensayo de resistencia al fuego para evaluar su comportamiento ante este, y así tener un panorama más amplio del comportamiento de la vermiculita en el mortero

Referencias

- [1] A. S. f. T. a. Materials, «ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials,» ASTM International, Washington.
- [2] R. Ojeda, «Ingeniería de incendios,» Arequipa, 2020.
- [3] CENEPRED, «ESCENARIO DE RIESGO POR INCENDIO URBANO DEL CERCADO DE LIMA,» Lima, 2020.
- [4] A. P. d. Noticias, «andina,» 18 12 2020. [En línea]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-cenepred-mas-13000-lotes-del-cercado-lima-alto-riesgo-ante-incendios-826700.aspx>. [Último acceso: 02 11 2023].
- [5] C. P. Piscocoya, «dialogos humanos,» 03 01 2022. [En línea]. Available: <https://www.dialogoshumanos.pe/2022/01/03/incendio-en-mesa-redonda-a-20-anos-de-la-tragedia/>. [Último acceso: 02 11 2023].
- [6] C. G. d. B. V. d. Perú, «Estadísticas de emergencia nacional 2023,» [En línea]. Available: https://www.bomberosperu.gob.pe/diprein/Estadisticas/po_contenido_estadisticas.asp. [Último acceso: 11 11 2023].
- [7] M. Kim Hung, L. Hong, M. Y. Jing Liu y T. Chai Ling, «Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar,» *Science direct*, vol. 179, pp. 302-306, 2018.
- [8] Q. Santos Viana, T. M. Carvalho Eugênio, T. P. Freire Sabino, J. R. Soares Scolforo y R. Farinassi Mendes, «Physical, mechanical, and thermal properties of concrete roof tiles produced with vermiculite,» *Environmental Science and Pollution Research*, p. 12, 24 Febrero 2022.
- [9] I. M. Da Silva Barros, «Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado,» Rio Grande del Norte.
- [10] E. A. Mayana Benites y D. S. Toro Cubas, «Análisis de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del mortero hidráulico como junta de albañilería adicionando Vermiculita,» Jaén, 2022.
- [11] G. Osman, G. Aliakbar, T. Hayrettin y O. Togay, «Replacement of Natural Sand with Expanded Vermiculite in Fly Ash-Based Geopolymer Mortars,» *applied sciences*, p. 19, 22 Febrero 2021.
- [12] L. S. Batista, F. M. da Silva, L. A. Gachet y R. C. C. Lintz, «Alternative Materials in Cementitious Composites for Noise Control,» *ACI MATERIALS JOURNAL*, vol. 119, n° 5, p. 10, Septiembre 2022.
- [13] M. V. S. S. SASTRI, P. ASHVEEN KUMAR y K. JAGANNADHA RAO, «EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON STRENGTH PROPERTIES OF ULTRAFINE FLY ASH AND MICRO SILICA AS MINERAL ADMIXTURES FOR VERMICULITE MORTAR,» *i-manager's Journal on Material Science*, vol. 7, n° 3, p. 11, 2019.
- [14] Fuat Koksall, Turan Nazlı, Ahmet Benli, Osman Gencil y Gokhan Kaplan, «The effects of cement type and expanded vermiculite powder on the thermo- mechanical characteristics and durability of lightweight mortars at high temperature and RSM modelling,» Elsevier, Turkey, 2021.
- [15] R. N. d. Edificaciones, «Propuesta de norma E.070 Albañilería,» Lima, 2019.
- [16] N. 334.009, «Cementos Portland Requisitos,» Lima, 2020.
- [17] posadainfo, «Posada,» 19 05 2022. [En línea]. Available: <https://posada.pe/agregados-construccion-clasificacion-beneficios/>. [Último acceso: 12 11 2023].
- [18] N. 400.011, «AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos),» Lima, 2008.
- [19] S. Y. Mendoza Díaz, «DISEÑO DE MORTERO PARA ALBAÑILERÍA INCORPORANDO VIDRIO RECICLADO TRITURADO,» Pimentel, 2020.
- [20] G. A. Rivera, Concreto Simple, Cauca, 2013.
- [21] J. E. C. VELASQUEZ, «ANÁLISIS RAZÓN AGUA/CEMENTO CON MORTERO DE CEMENTO BLANCO,» Valdivia, 2007.

- [22] R. Salamanca Correa, «Tecnología de los morteros,» Bogotá, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2001, pp. 41-48.
- [23] O. J. Leal Pérez, U. A. Moreno Forero, M. J. Novoa Florez y J. S. Parrado Torres, «Prezi,» 02 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://prezi.com/vfkj2epsbxb/propiedades-del-mortero/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2023].
- [24] L. G. d. Lopez, «Morteros,» Colombia, pp. 115-143.
- [25] E. Espinal Castañeda y D. L. Hernandez Franco, «Cómo detectar la CARBONATACIÓN en el CONCRETO - Ensayo con FENOLFTALEÍNA,» Medellín, 2020.
- [26] N. 339.610, «UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Especificación normalizada para morteros,» Lima, 2003.
- [27] N. 334.051, «Método de ensayo para determinar la resistencia a compresión en morteros de cemento Portland, usando especímenes cúbicos de 50mm de lado,» Lima, 2022.
- [28] N. C. O. -. I. N. d. Normalización, «Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación de la densidad real saturada y densidad real seca,» Santiago, 1992.
- [29] I. N. d. Normalización, «Cementos - Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento,» Santiago, 1968.
- [30] I. N. D. N. -. CHILE, «Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos,» Santiago, 2001.
- [31] C. D. R. T. Y. COMERCIALES-INDECOPI, «NORMAS PARA MURETES DE ALBAÑILERIA,» LIMA, 2004.
- [32] I. d. N. d. Vías, «RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO,» 2007.
- [33] I. Makrygiannis y A. Tsetsekou, «Effect of Expanded Perlite in the Brick Mixture on the Physicochemical and Thermal Properties of the Final Products,» *Journal of Composites Science*, p. 17, 2022.
- [34] K. d. R. Alama Sarango y L. T. Chávez Vilela, «PIRHUA Repositorio Institucional,» Marzo 2024. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/11042/6635>. [Último acceso: 18 Junio 024].
- [35] N. 400.012, «Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global,» Lima, 2001.
- [36] C. T. P. d. Agregados, «Método de ensayo para determinar el peso unitario de agregado (NTP 400.017),» I.C.S, Lima, 1999.
- [37] N. 339.185, «Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados en secado,» Lima, 2002.
- [38] Comité Técnico de Normalización de Agregados, «Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino,» I.C.S, Lima, 2013.
- [39] CAPECO, COSTOS Y PRESUPUESTOS EN EDIFICACION, Lima, 2003.
- [40] N. 334.057, «Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland,» Lima, 2016.
- [41] M. I. EIRLTDA, «Maruplast,» 28 10 2022. [En línea]. Available: <https://maruplast.com/producto/vermitek-micron/>. [Último acceso: 08 06 2024].
- [42] P. C. De Assis Neto, L. P. Bonfim Ventas, P. K. Santos Oliveira, I. Costa da Silva, I. M. Da Silva Barros y A. F. Da Nobrega, «Expanded Vermiculite: A Short Review about Its Production, Characteristics, and Effects on the Properties of Lightweight Mortars,» *buildings*, p. 33, 21 Marzo 2023.
- [43] C. C. Culma Rodriguez y C. Forero Osorio, «GUÍA METODOLÓGICA PARA EL RECONOCIMIENTO IN SITU DE PATOLOGÍAS DEL CONCRETO,» Bogotá, 2021.
- [44] E. Claros, «360 en concreto,» Argos, [En línea]. Available: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-del-concreto-frente-al-fuego/>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [45] A. C642, «Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete,»

ASTM International, Estados Unidos, 2006.

Anexos

Anexo 1: Diseño de mezcla del mortero

1° PASO: CALCULO CANTIDAD DE MATERIAL INICIAL

Para una dosificación de mortero de 1-4

Cemento 1 pie³ = 42.5 kg
 Arena 4 pie³

Usamos la siguiente fórmula para hallar la cantidad de arena

$$4 \text{ pie}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pie}^3} \text{ PLUS}$$

$$4 \text{ pie}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pie}^3} \times 1163.08 \text{ kg/m}^3$$

Arena: 154.392224 kg

usamos la siguiente formula para hallar la cantidad de agua, en funcion a la relacion agua cemento de 0.72:

$$0.72 \times 42.5$$

Agua: 30.60

2° PASO: CALCULO DE VOLUMEN DE MATERIAL

Calculamos el volumen del cemento:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Peso de bolsa de cemento}}{\text{Peso especifico del cemento}}$$

$$\frac{42.5 \text{ kg}}{3130 \text{ kg/m}^3}$$

Cemento: 0.01357827 m³

Calculamos el volumen de arena:

$$\text{Arena fina} = \frac{\text{Peso de arena fina}}{\text{Peso especifico de la arena fina}}$$

$$\frac{154.392224 \text{ kg}}{1870.05267 \text{ kg/m}^3}$$

Arena fina: 0.08256036 m³

Calculamos el volumen de agua:

$$\text{Agua} = \frac{\text{Peso bolsa de cemento} \times \text{relacion A/C}}{\text{Peso especifico del agua}}$$

$$\frac{42.5 \text{ kg} \times 0.72}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

Agua: 0.0306 m³

0.126738636

sumamos los volúmenes obtenidos, para hallar el volumen total de la mezcla:

Sub total: 0.12673864 m³

Aire atrapado: 5% 0.0063 m³

Calculamos el rendimiento, que sera la suma total de los volúmenes obtenidos

Total (Rendimiento) 0.1 m³



3° PASO: CALCULO DE MATERIAL SEGUN RENDIMIENTO

$$\text{Cemento (bolsa)} = \frac{1}{\text{Rendimiento}}$$

Cemento = 7.514527383 (bolsas) = 319.37 kg

Arena fina = Cemento (bolsas) x Peso arena fina

Arena(kg) = 1160.1846 kg

Agua = Cemento (kg) x Relacion A C

Agua(litros) = 229.944538 litros

Aire Atrapado = 5%

4° PASO: CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA Y ARENA

Hallamos la cantidad de arena y agua para la cantidad de cemento hallada (8.2bolsas)

$$\text{Arena fina húmeda} = \text{Arena seca} \times \left(1 + \frac{w\%}{100}\right)$$

Arena fina húmeda = 1167 kg

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - \left(\frac{w\% - abs\%}{100}\right) \times \text{Arena fina}$$

Agua efectiva = 278.08 litros

Material	Volumen	Peso
Cemento	1.00 m ³	1.00 kg
Arena fina	4.00 m ³	3.65 kg
Agua efectiva	37.01 Lt/bis	0.87 lt/kg

0.500	0.100	0.15
1.827066251	0.36541325	0.548119875
0.435365729	0.087073146	0.130609719

4° PASO: CORRECCION POR FLUIDEZ

Diseño patron

Cemento 1
 Arena 3.65
 Agua Efectiva 0.87

agua adicional por fluides 0

A/C 0.72
 C= 1.20934925

NUEVA RELACION

CEMENTO:	1.209	0.605	0.121
Arena fina:	3.6541325	1.8271	0.3654133
Agua efectiva	0.87	0.4354	0.0870731

calculamos la cantidad de volumen por m3 de mortero según rendimiento

cemento 1 pie³ = 42.5 kg
 arena 3.65 m³ = 155.30 kg
 agua 0.72 a/c = 30.6 L
 aire atrapado 5 %

calculo del volumen del material

cemento 0.0136
 arena 0.0826
 agua 0.0306
 aire atrapado 0.0063
 Total (rendimiento) 0.1331

calculo final del material según rendimiento

cemento 319.367414 kg
 arena 1167.01085 kg
 agua 229.944538 Litros



TECNICO D

Anexo 2: Firma de ensayo de granulometría, absorción de agua, peso unitario seco suelto, peso unitario seco compactado y contenido de humedad realizados en laboratorio

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Ensayos realizados para el diseño de mezcla de concreto

Expediente N°:

Proyecto: Museo Centro Pedagógico

Asesorado: Laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental

1. GRANULOMETRÍA - N.I.P. 400.012

Muestra: Carretera Patagón

Peso Hum: 500, Peso Seco: 500

Medida de Criba: 1.570, Cost. Hum: 0.89

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Especificaciones
N° 4	4.75	0.00	0.0	0.0	100.0	100
N° 10	1.9	0.00	0.0	0.0	100.0	100
N° 20	0.85	0.00	0.0	0.0	100.0	100
N° 40	0.425	0.00	0.0	0.0	100.0	100
N° 60	0.25	0.0	0.0	0.0	100.0	80
N° 80	0.18	0.0	0.0	0.0	100.0	50
N° 100	0.15	0.22	0.0	0.1	99.9	25
N° 150	0.106	17.70	3.5	3.6	96.4	10
N° 200	0.075	338.84	67.8	71.4	28.6	2
N° 250	0.075	83.74	10.4	81.8	18.2	10
Total		90.8	18.2	100.0	0.0	

Especimen: M

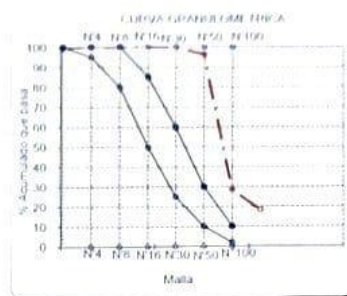
1

Proyecto: Museo

Centro Pedagógico

Atención:

Laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental



2. PESO UNITARIO - N.I.P. 400.017

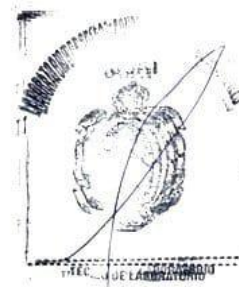
	A	B
- Peso de la muestra húmeda	7616	7605
- Volumen del molde		0.00553
- Peso unitario suelto húmedo		1375
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1363.08

COMPACTADO ((A+B)/2) VV/1000(1+C H/100)		
- Peso de la muestra húmeda	8611	8598
- Volumen del molde		0.00553
- Peso unitario suelto húmedo		1555
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1540.99

3.- PUNTO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN: N.I.P. 400.021 Arena			
A.- Datos de la arena			
1.- Peso de la Muestr. Sat. Sup. Seca	g	375.6	375.6
2.- Peso de la Muestr. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua	g	894.0	894.0
3.- Peso de la Muestr. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco	(1+5) g	585.8	585.8
4.- Peso del Agua	(2-3) g	308.2	308.2
5.- Peso del Frasco	g	210.2	210.2
6.- Peso de la Muestr. secada al horno + Peso del frasco	(5+7) g	568.8	568.8
7.- Peso de la Muestr. seca en el horno	g	358.6	358.6
8.- Volumen del frasco	cm	500.0	500.0

B.- Resultados			Promedio		
A.- PUNTO ESPECÍFICO DE LA ARENA	7/(8-4)	g/cm ³	1.870	1.870	1.870
B.- PUNTO ESPECÍFICO DE LA MASA S.S.S	7/(7-4)	g/cm ³	2.607	2.607	2.607
C.- PUNTO ESPECÍFICO APARENTE	7/(8-4)+(8-7)	g/cm ³	7.117	7.117	7.117
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	((1-7)/7)*100	%	4.74	4.74	4.74

4.- CONTENIDO DE HUMEDAD: N.I.P. 339.185			
Arena ((A+B)/2)/(1+(C H/100))			
1.- Peso de la muestr. húmeda		377.82	377.82
2.- Peso de la muestra seca		375.64	375.64
3.- Cont. Humedad		0.59	0.59
4.- Promedio			0.59



Anexo 3: Firma de ensayo de fluidez realizado en laboratorio



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS DE SUELOS CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Paa. 05 de 07)

Tesista : Alvaro Alonso Licla Rodriguez
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 2024
Ensayo : CEMENTOS, Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland
Referencia : NTP 334-057

Prueba	Diametro de Inicio en mm	Diámetros	Promedio de los diámetros	% De Fluidez
Mortero convencional	90	19.4	191.5	112.78
		19.20		
		18.90		
		19.10		

Comparación de los resultados				
% Fluidez (mesa de Flujo)	Consistencia	Tipo de Estructura	Condiciones de Colocación	Sistema de colocación
80-100	Dura (seca)	Reparaciones, recubrimiento de tuneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Sección sujetas a vibración	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
100-120	Media (plástica)	Pega de mampostería, baldosas y revestimientos	Sin vibración	Manual con paletas
120-150	Fluida (húmeda)	Rellenos de mampostería estructural, morteros auto nivelantes	Sin vibración	Manual, bombeo, inyección



TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 4: Firma de ensayo de resistencia a compresión para verificar el diseño de mezcla

Teniente: Alvaro Alonso Lúcia Rodríguez
 Escuela: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al terrazo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego.
 Lugar: Lambayeque - Chiclayo - Chiclayo
 Fecha: 14/06/2024
 Título: Ensayo de resistencia a compresión para verificación de diseño de mezcla de mortero (NTP 334.031)

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área cm ²	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	25/04/24	3 días	25.0	1727.9	69	95
02	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	28/04/24		25.0	2859.9	116	
03	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	28/04/24		25.0	2468.3	99	
04	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	02/05/24	7 días	25.0	2208.1	88	94
05	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	02/05/24		25.0	2373.9	95	
06	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	02/05/24		25.0	2487	99	
07	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	23/05/24	28 días	25.0	1618.4	65	110
08	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	23/05/24		25.0	3121.8	125	
09	Mortero 100 kg/cm ²	25/04/24	23/05/24		25.0	3524.9	141	

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Díametro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24	3 días	25.0	772.9	31	34
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	774.6	31	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	1000.3	40	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24	7 días	25.0	989.8	40	32
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	760.2	30	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	684.6	27	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24	28 días	25.0	1299.9	52	41
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	769.1	31	
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	977.8	39	

Scanned by TapScanner

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Díametro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24	3 días	25.0	506.1	20	24
02	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	699.7	28	
03	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		25.0	608.3	24	
04	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24	7 días	25.0	862.6	35	35
05	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	875.5	34	
06	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	16/05/24		25.0	874.9	35	
07	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24	28 días	25.0	1358.3	54	49
08	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	1068.3	43	
09	Mortero + 5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		25.0	1279.1	51	

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Díametro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24	3 días	25.0	660	26	27
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24		25.0	790	32	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	18/05/24		25.0	580	23	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24	7 días	25.0	665.8	24	34
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24		25.0	596	24	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	22/05/24		25.0	629.3	25	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24	28 días	25.0	807.3	36	41
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24		25.0	1021.7	41	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	15/05/24	12/06/24		25.0	1000	40	

Scanned by TapScanner

Anexo 5: Firma de ensayo de densidad real saturada realizada en laboratorio

Tenista: Alvaro Alonso Lúcia Rodríguez
 Escuela: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego
 Lugar: Lambayeque - Chiclayo - Chiclayo
 Fecha: 14/06/2024
 Título: Ensayo de densidad real saturada (NCH 2186.092)

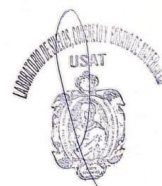
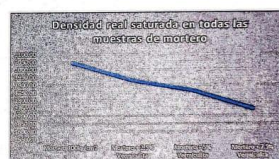
Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Peso canastilla	A	B	ps		Promedio
					A	B	
01	Mortero 100kg/cm2	893.88	291.99	572.76	2040.0		2044.83
02	Mortero 100kg/cm2		286.78	560.66	2047.1		
03	Mortero 100kg/cm2		276.64	537.98	2058.5		
04	Mortero 100kg/cm2		260.34	515.21	2021.5		
05	Mortero 100kg/cm2		274.17	533.55	2057.0		
06	Mortero 100kg/cm2		274.87	536.28	2051.5		
07	Mortero 100kg/cm2		275.14	538.06	2046.5		
08	Mortero 100kg/cm2		286.92	557.16	2061.7		
09	Mortero 100kg/cm2		284.13	555.43	2047.3		
10	Mortero 100kg/cm2		284.34	563.86	2017.2		

Donde:

- A: Peso probeta sumergida en agua
- B: Peso probeta después de retirarla del agua

Mortero 100kg/cm2	2044.83
Mortero + 2.5% Vermiculita	1930.14
Mortero + 5% Vermiculita	1864.73
Mortero + 7.5% Vermiculita	1746.28

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Peso canastilla	A	B	ps		Promedio
					A	B	
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	961.34	244.23	505.20	1935.9		1930.14
02	Mortero + 2.5% Vermiculita		271.53	564.96	1923.6		
03	Mortero + 2.5% Vermiculita		254.00	527.80	1927.7		
04	Mortero + 2.5% Vermiculita		249.17	524.46	1905.3		
05	Mortero + 2.5% Vermiculita		238.14	496.96	1842.2		
06	Mortero + 2.5% Vermiculita		226.37	469.50	1891.1		
07	Mortero + 2.5% Vermiculita		247.27	513.46	1929.1		
08	Mortero + 2.5% Vermiculita		231.50	480.96	1928.2		
09	Mortero + 2.5% Vermiculita		236.27	496.20	1890.5		
10	Mortero + 2.5% Vermiculita		241.40	496.96	1945.9		



Scanned by TapScanner

Tenista: Alvaro Alonso Lúcia Rodríguez
 Escuela: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego
 Lugar: Lambayeque - Chiclayo - Chiclayo
 Fecha: 14/06/2024
 Título: Ensayo de densidad real seca (NCH 2186.092)

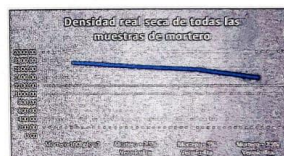
Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	A	B	C	ps		Promedio
					A	B	
01	Mortero 100kg/cm2	291.99	572.76	490.54	1747.1		1748.67
02	Mortero 100kg/cm2	286.78	560.66	478.52	1747.2		
03	Mortero 100kg/cm2	276.64	537.98	458.85	1755.8		
04	Mortero 100kg/cm2	260.34	515.21	438.41	1720.1		
05	Mortero 100kg/cm2	274.17	533.55	459.08	1769.9		
06	Mortero 100kg/cm2	274.87	536.28	458.31	1753.2		
07	Mortero 100kg/cm2	275.14	538.06	467.67	1778.8		
08	Mortero 100kg/cm2	286.92	557.16	480.45	1779.9		
09	Mortero 100kg/cm2	284.13	555.43	475.81	1753.8		
10	Mortero 100kg/cm2	284.34	563.86	469.84	1680.9		

Donde:

- A: Peso probeta sumergida en agua
- B: Peso probeta después de retirarla del agua
- C: Peso probeta después de 72 horas de secado en horno.

Mortero 100kg/cm2	1748.67
Mortero + 2.5% Vermiculita	1651.72
Mortero + 5% Vermiculita	1583.37
Mortero + 7.5% Vermiculita	1384.63

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	A	B	C	ps		Promedio
					A	B	
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	244.23	505.20	439.60	1584.5		1651.72
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	271.53	564.96	487.80	1662.7		
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	254.00	527.80	454.40	1529.6		
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	249.17	524.46	445.70	1519.4		
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	238.14	496.96	416.10	1466.2		
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	226.37	469.50	394.80	1523.8		
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	247.27	513.46	434.50	1533.0		
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	231.50	480.96	412.40	1523.6		
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	236.27	496.20	422.00	1561.9		
10	Mortero + 2.5% Vermiculita	241.40	496.60	426.80	1572.4		



Scanned by TapScanner

Anexo 6: Firma de ensayo de densidad real seca realizado en laboratorio

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Peso canastilla	A	B	ps _s kg/m ³	Promedio
01	Mortero + 5% Vermiculita	898.03	217.34	471.30	1855.8	1864.73
02	Mortero + 5% Vermiculita		212.50	460.70	1856.2	
03	Mortero + 5% Vermiculita		217.12	469.80	1859.3	
04	Mortero + 5% Vermiculita		225.88	490.20	1854.6	
05	Mortero + 5% Vermiculita		218.89	471.10	1867.9	
06	Mortero + 5% Vermiculita		229.12	494.10	1864.7	
07	Mortero + 5% Vermiculita		225.27	486.00	1864.0	
08	Mortero + 5% Vermiculita		230.11	495.70	1866.4	
09	Mortero + 5% Vermiculita		202.73	435.50	1870.9	
10	Mortero + 5% Vermiculita		204.59	435.10	1887.6	

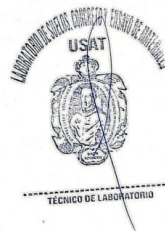
Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Peso canastilla	A	B	ps _s kg/m ³	Promedio
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	901.34	195.85	460.90	1738.9	1746.28
02	Mortero + 7.5% Vermiculita		198.64	473.70	1722.2	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita		205.09	492.20	1714.3	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita		188.88	435.40	1766.2	
05	Mortero + 7.5% Vermiculita		202.01	466.20	1754.6	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita		208.25	486.60	1748.2	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita		208.27	489.20	1741.4	
08	Mortero + 7.5% Vermiculita		209.68	490.20	1747.5	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita		212.17	492.80	1756.0	
10	Mortero + 7.5% Vermiculita		216.17	499.30	1763.5	



Scanned by TapScanner

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	A	B	C	ps _s kg/m ³	Promedio
01	Mortero + 5% Vermiculita	217.34	471.30	411.21	1619.2	1583.77
02	Mortero + 5% Vermiculita	212.50	460.70	393.80	1586.6	
03	Mortero + 5% Vermiculita	217.12	469.80	400.93	1586.7	
04	Mortero + 5% Vermiculita	225.88	490.20	419.92	1588.7	
05	Mortero + 5% Vermiculita	218.89	471.10	402.70	1596.7	
06	Mortero + 5% Vermiculita	229.12	494.10	430.77	1625.7	
07	Mortero + 5% Vermiculita	225.27	486.00	405.82	1556.5	
08	Mortero + 5% Vermiculita	230.11	495.70	419.97	1581.3	
09	Mortero + 5% Vermiculita	202.73	435.50	356.76	1532.7	
10	Mortero + 5% Vermiculita	204.59	435.10	360.45	1563.7	

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	A	B	C	ps _s kg/m ³	Promedio
01	Mortero + 7.5% Vermiculita	195.85	460.90	362.00	1365.8	1384.63
02	Mortero + 7.5% Vermiculita	198.64	473.70	378.30	1375.3	
03	Mortero + 7.5% Vermiculita	205.09	492.20	390.70	1360.8	
04	Mortero + 7.5% Vermiculita	188.88	435.40	346.10	1403.9	
05	Mortero + 7.5% Vermiculita	202.01	466.20	366.40	1386.9	
06	Mortero + 7.5% Vermiculita	208.25	486.60	390.20	1401.8	
07	Mortero + 7.5% Vermiculita	208.27	489.20	395.50	1407.8	
08	Mortero + 7.5% Vermiculita	209.68	490.20	389.50	1388.5	
09	Mortero + 7.5% Vermiculita	212.17	492.80	386.50	1377.3	
10	Mortero + 7.5% Vermiculita	216.17	499.30	390.20	1378.2	



Scanned by TapScanner

Anexo 7: Firma de ensayos de resistencia a compresión para verificar el diseño de mezcla

Técnico: Álvaro Alvarado Landa Rodríguez
 Entidad: Escuela de Ingeniería Civil (Arquitectura)
 Tema: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tiempo adicionando remanente expandido después de ser sometido al fuego
 Lugar: Lamberto Viquez - Chicten
 Fecha: 17/06/2024
 Título: Ensayo de resistencia a compresión post - quemado de mortero (NTP 334.031)

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	f _c (kg/cm ²)	Procedido
01	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	1975	500	79	76
02	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	2190	500	88	
03	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	2310	500	93	
04	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	1620		65	
05	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24	28 días	25.0	1960	750	78	66
06	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	1660		66	
07	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	890		36	
08	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	880	1000	35	47
09	Mortero 100 kg/m ³	17/06/24	18/06/24		25.0	1750		70	

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	f _c (kg/cm ²)	Procedido
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	1960		85	69
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	1840		80	
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	1720		75	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	1790	750	78	68
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24	28 días	23.0	1590		69	
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	890		38	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	840	1000	36	41
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	17/06/24	18/06/24		23.0	1220		53	

Técnico: Álvaro Alvarado Landa Rodríguez
 Entidad: Escuela de Ingeniería Civil (Arquitectura)
 Tema: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tiempo adicionando remanente expandido después de ser sometido al fuego
 Lugar: Lamberto Viquez - Chicten
 Fecha: 14/06/2024
 Título: Ensayo de resistencia a compresión para verificación de diseño de mortero (NTP 334.031)

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga (F) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Procedido
01	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	28/04/24		25.0	1721.9	69	
02	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	28/04/24	3 días	25.0	2015.9	81	95
03	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	28/04/24		25.0	2468.3	99	
04	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	02/05/24		25.0	2208.1	88	
05	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	02/05/24	7 días	25.0	2373.9	95	94
06	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	02/05/24		25.0	2487	99	
07	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	25/05/24		25.0	1618.4	65	
08	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	23/05/24	28 días	25.0	3122.6	125	110
09	Mortero 100 kg/m ³	25/04/24	23/05/24		25.0	3524.9	141	

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Carga (F) (kg)	f _c (kg/cm ²)	Procedido
01	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		23.0	772.0	34	
02	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24	3 días	23.0	774.0	34	34
03	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	12/05/24		23.0	1000.3	40	
04	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	18/05/24		23.0	993.8	40	
05	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	18/05/24	7 días	23.0	760.2	30	32
06	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	18/05/24		23.0	683.9	27	
07	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		23.0	1209.8	52	
08	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24	28 días	23.0	760.1	31	41
09	Mortero + 2.5% Vermiculita	09/05/24	06/06/24		23.0	977.8	39	

Anexo 8: Firma de ensayos de resistencia a flexión del mortero con adiciones de vermiculita expandida a diferentes temperaturas realizadas en laboratorio

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Factor	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	P _s (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0302	470	500 °C	18	16
02	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			420		16	
03	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			360		12	
04	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			450		15	
05	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			400		12	
06	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			350		12	
07	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			410		13	
08	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			380		12	
09	Mortero adición 5%	25/05/24	28/06/24			410		13	

Resistencia a flexión post - quemado mortero con adición de 5%

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Factor	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	P _s (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0302	540	700 °C	21	23
02	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			530		21	
03	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			720		29	
04	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			470		18	
05	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			400		17	
06	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			560		19	
07	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			400		15	
08	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			370		14	
09	Mortero adición 7.5%	25/05/24	28/06/24			400		15	

Resistencia a flexión post - quemado mortero con adición de 7.5%

Temas: Alumnos: Alexen Laine Rodríguez
 Facultad: Escuela de Ingeniería Civil (Asistencial)
 Tema: Evaluación de las propiedades mecánicas y físicas del mortero adicionado al terrazo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego.
 Lugar: Lambayeque - Chiclayo - Chiclayo
 Fecha: 20/05/2024
 Título: Ensayo de resistencia a flexión post - quemado de morteros (ASTM C144)

Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Factor	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	P _s (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0302	770	500 °C	29	24
02	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			600		25	
03	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			830		16	
04	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			830		16	
05	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			290		12	
06	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			380		13	
07	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			170		14	
08	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			340		12	
09	Mortero patrón	25/05/24	28/06/24			340		12	

Resistencia a flexión post - quemado mortero patrón


Muestra N°	IDENTIFICACION	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Factor	Carga (F) (kg)	Temperatura (°C)	P _s (kg/cm ²)	Promedio
01	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24	28 días	0.0302	440	500 °C	17	20
02	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			520		20	
03	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			640		24	
04	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			770		29	
05	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			690		26	
06	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			490		19	
07	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			390		11	
08	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			340		12	
09	Mortero adición 2.5%	25/05/24	28/06/24			520		20	

Resistencia a flexión post - quemado mortero con adición de 2.5%

Temperatura (°C)	0.0%	2.5%	5.0%	7.5%
300°C	24	29	18	23
500°C	15	21	18	18
700°C	14	15	22	15


Gráfica comparativa de resistencia a flexión de mortero a cada porcentaje de adición en diferentes rangos de temperatura

Anexo 9: Firma de ensayo de resistencia a la adherencia a cizalle del mortero realizada en laboratorio



USAT
Universidad Católica
Santa Teresita Magrovejo

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MUGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Solicitante: Lila Rodríguez Alvaro Alonso
Atención: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Proyecto: Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego
Lugar: Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de Ensayo: Chiclayo, 03 de octubre del 2024


CÓDIGO: NCh167 : 2001
ENSAYO: UNIDADES DE ALBAÑERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la adherencia a cizalle en prisma de albañilería

Muestra	Identificación	Fecha de asentado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Temperatura (°C)	h (cm)	A (cm)	Área bruta (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo de compresión a la adherencia (kg/cm ²)	TOTAL PROMEDIO (kg/cm ²)	TOTAL PROMEDIO (kg/cm ²)	
01	Mortero patrón	05/09/2024	03/10/2024	500 °C	28	13.0	9.0	234	1980	8.5	8.97	8.38
02		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	2220	9.5		
03		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	2290	9.8		
04		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1350	5.8		
01	Mortero + 2.5% V.E	05/09/2024	03/10/2024	500 °C	28	13.0	9.0	234	2170	9.3	10.85	9.91
02		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	2910	12.4		
03		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1430	6.1		
04		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	2170	11.8		
01	Mortero + 5% V.E	05/09/2024	03/10/2024	500 °C	28	13.0	9.0	234	2300	9.8	8.33	7.60
02		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1600	6.8		
03		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1490	6.4		
04		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1720	7.4		
01	Mortero + 7.5% V.E	05/09/2024	03/10/2024	500 °C	28	13.0	9.0	234	1620	6.9	7.07	6.16
02		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1690	7.2		
03		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1250	5.3		
04		05/09/2024	03/10/2024		28	13.0	9.0	234	1210	5.2		

DONDE:
 h : altura del prisma.
 e : espesor del prisma.


TABLAS

Resistencia de compresión a la adherencia del mortero a diferentes porcentajes de adición de vermiculita



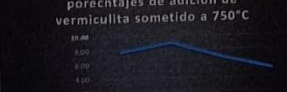
Mortero patrón	Mortero + 2.5% V.E	Mortero + 5% V.E	Mortero + 7.5% V.E
8.97	10.85	8.33	7.60

Resistencia de compresión a la adherencia del mortero a diferentes porcentajes de adición de vermiculita sometido a 500 °C




Mortero patrón	Mortero + 2.5% V.E	Mortero + 5% V.E	Mortero + 7.5% V.E
8.97	10.85	8.33	7.60

Resistencia de compresión a la adherencia del mortero a diferentes porcentajes de adición de vermiculita sometido a 750 °C




Mortero patrón	Mortero + 2.5% V.E	Mortero + 5% V.E	Mortero + 7.5% V.E
7.07	8.33	6.86	6.16

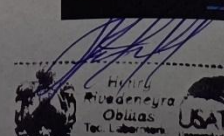

Gráfica comparativa de resistencia de compresión a la adherencia del mortero a cada porcentaje de adición de vermiculita a diferentes rangos de temperatura



	0% V.E	2.5% V.E	5% V.E	7.5% V.E
500 °C	8.97	10.85	8.33	7.60
750 °C	7.07	8.33	6.86	6.16



120.9588
115.2956

Ing. Lila Rodríguez Alvaro Alonso
 Obispa
 Tec. Laboratorio
 USAT

Anexo 10: Validación de ensayos de laboratorio USAT

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS	 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
	INFORME N°: LEM USAT 032-2024-II
	FECHA: 23 de octubre de 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Alvaro Alonso Licla Rodriguez

TITULO DE LA TESIS: Análisis de las propiedades mecánicas y físicas del mortero aplicado al tarrajeo adicionando vermiculita expandida después de ser sometido al fuego

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

ENSAYOS REALIZADO EN LABORATORIO USAT:

- Contenido de humedad de agregado fino
- Análisis granulométrico de agregado fino
- Peso específico y absorción de agregado fino
- Peso unitario de agregado fino
- Fluidéz del mortero
- Resistencia a la compresión de cubos de mortero
- Resistencia a la flexión en barras de mortero
- Adherencia al cizalle en mortero
- Ensayo de densidad real saturada y seca del mortero



Henry Rivadeneyra Oblitas
Ing. Laboratorio USAT



Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Laboratorio Ing. Civil

Scanned by TapScanner

Anexo 11: Panel fotográfico de resultados de ensayo a compresión post - quemado de especímenes de mortero patrón

- 500°C



- 750°C



- 1000°C



Anexo 12: Panel fotográfico de resultados de ensayo a compresión post - quemado de especímenes de mortero al 2.5% de adición

- 500°C



- 750°C



- 1000°C



Anexo 13: Panel fotográfico de resultados de ensayo a compresión post - quemado de especímenes de mortero al 5% de adición

- 500°C



- 750°C



- 1000°C



Anexo 14: Panel fotográfico de resultados de ensayo a compresión post - quemado de especímenes de mortero al 7.5% de adición

- 500°C



- 750°C



- 1000°C



Anexo 15: Temperatura de 500°C alcanzada en los especímenes de resistencia a compresión a los 5 minutos



Anexo 16: Temperatura de 750°C alcanzada en los especímenes de resistencia a compresión a los 10 minutos



Anexo 17: Temperatura de 1000°C alcanzada en los especímenes de resistencia a compresión a los 18 minutos



Anexo 18: Tabla resumen del tiempo de exposición de los especímenes sometidos a 500°C, 750°C y 1000°C con sus respectivas fechas de ensayo

T°(C)	Hora comienzo	Hora término	
500	3:05 pm	3:11 pm	} 14 JUNIO
750	3:18 pm	3:28 pm	
1000	10:10 am	10:28 am	
	↓	↓	
	15 JUNIO	15 JUNIO	

Anexo 19: Especímenes para ensayo de resistencia a compresión expuestos al fuego en un horno artesanal a diferentes rangos de temperatura



Anexo 20: Exposición al fuego de especímenes de 4x4x16cm para posterior ensayo de resistencia a la flexión a diferentes rangos de temperatura



Anexo 21: Especímenes de 4x4x16cm sometidos a 500°C



Anexo 22: Especímenes de 4x4x16cm sometidos a 750°C



Anexo 23: Especímenes de 4x4x16cm sometidos a 1000°C



Anexo 24: Exposición al fuego de muretes de 60x60cm a diferentes rangos de temperatura para evaluar micro fisuras y coloración del mortero



Anexo 25: Muretes de 60x60cm de mortero patrón sometidos a 500°C y 750°C



Anexo 26: Muretes de 60x60cm de mortero con adición de 2.5% sometidos a 500°C y 750°C



Anexo 27: Muretes de 60x60cm de mortero con adición del 5% sometidos a 500°C y 750°C



Anexo 28: Muretes de 60x60cm de mortero con adición del 7.5% sometidos a 500°C y 750°C



Anexo 29: Panel fotográfico de resultados de ensayo a flexión post - quemado de especímenes (4x16x16cm) de mortero patrón

- 500 °C:



- 750 °C:



- 1000 °C:



Anexo 30: Panel fotográfico de resultados de ensayo a flexión post - quemado de especímenes (4x16x16cm) de mortero con 2.5% de adición

- 500 °C:



- 750 °C:



- 1000 °C:



Anexo 31: Panel fotográfico de resultados de ensayo a flexión post - quemado de especímenes (4x16x16cm) de mortero con 5% de adición

- 500 °C:



- 750 °C:



- 1000 °C:



Anexo 32: Panel fotográfico de resultados de ensayo a flexión post - quemado de especímenes (4x16x16cm) de mortero con 7.5% de adición

- 500 °C:



- 750 °C:



- 1000 °C:



Anexo 33: Panel fotográfico de resultados de ensayo a la adherencia post - quemado de especímenes (pilas) de mortero

- Mortero patrón sometido a 500 °C y 750 °C respectivamente



- Mortero con adición de 2.5% sometido a 500 °C y 750°C respectivamente



- Mortero con adición de 5% sometido a 500 °C y 750 °C respectivamente



- Mortero con adición de 7.5% sometido a 500 °C y 750 °C respectivamente



Anexo 34: Panel fotográfico de exposición al fuego de muestras para evaluar durabilidad del mortero (500°C, 750°C y 1000°C)





Anexo 35: Panel fotográfico del ensayo de durabilidad aplicando fenolftaleína a los especímenes de mortero sometidos a 500°C

- 0%:



- 2.5%:



- 5%:



- 7.5%:



Anexo 36: Panel fotográfico del ensayo de durabilidad aplicando fenolftaleína a los especímenes de mortero sometidos a 750°C

- 0%:



- 2.5%:



- 5%:



- 7.5%:



Anexo 37: Panel fotográfico del ensayo de durabilidad aplicando fenolftaleína a los especímenes de mortero sometidos a 1000°C

- 0%



- 2.5%:



- 5%:



- 7.5%:

