

Ciudad Obregón, Sonora, a 12 de Noviembre de 2012.

Instituto Tecnológico de Sonora
P r e s e n t e.

El que suscribe **Omar Alonso Villarreal Jaime**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: **“UTILIZACIÓN DE MORTERO DE PERLITA EN ALIGERAMIENTO DE LOSAS Y SUS VENTAJAS”**, en lo sucesivo “LA OBRA”, misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante “EL INSTITUTO”, para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.



Omar Alonso Villarreal Jaime
(Nombre y firma del autor)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**Utilización de mortero de perlita
en aligeramiento de losas y sus
ventajas.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

OMAR ALONSO VILLARREAL JAIME

Cd. Obregón, Sonora

Noviembre de 2012

DEDICATORIA

La culminación de esta etapa de mi vida de gran aprendizaje se lo dedico a mis padres Jesús Villarreal Gámez, María Teresa Jaime Mariscal por brindarme su apoyo incondicional y permitirme lograr mis sueños sin dar marcha atrás por los obstáculos que se me presentan en la vida, a mi hermana Ariana Sarahí Villarreal Jaime y a mi hermano Jesús Alejandro Villarreal Jaime por su ayuda cuando los he necesitado.

A mis maestros(a) que conocí en el transcurso de mi formación profesional por su entrega y dedicación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme esta familia que me apoyado en toda la vida y contar con salud para lograr mis objetivos.

Le agradezco a mi padre Jesús por siempre confiar en mí, por corregirme en mis errores y hacérmelos ver, enseñarme a como sobrellevar la vida, por siempre encaminarme a una formación profesional, y darme las herramientas necesarias para poder lograrlo, por dar su ser, para permitirme llegar a donde he llegado ahora.

A mi madre María Teresa por apoyarme en momentos difíciles, siempre estar cuando la necesito, y por mantener una familia unida.

A mis amigos(a) que he conocido a lo largo de mi estadía en la universidad y que espero seguir viendo a lo largo de mi vida profesional que deseo comenzar, que han estado conmigo en mis momentos difíciles y de alegrías.

A mis compañeros que fueron parte de este trayecto que a lo largo de este pasaron a ser amigos.

A los maestros que formaron parte de mi formación que dedicaron su tiempo y esfuerzo para poder llegar a esta etapa.

Agradezco a mi asesor Ing. Dagoberto López López, por ayudarme a llevar este proyecto hasta el final, por aceptar a alguien que no tenia definido que proyecto realizar y le propuso uno, facilitando las herramientas para llevarlo a cabo y seguir en disposición hasta llegar a mi objetivo anhelado desde hace 4 años, les agradezco a mis revisores Maestro Roberto Gamboa García e Ing. Dínora Moreno Cozarít por mostrar disponibilidad y darme la confianza en este proyecto que forma parte en la culminación de la carrera de Ingeniería Civil.

Gracias a todos y a cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Limitaciones del estudio.....	4
CAPÍTULO II	5
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Aglomerados	5
2.1.1 Aglomerado de baja densidad	6
2.1.1.1 Perlita	8
2.2 Aglomerantes y sus usos generales	8
2.2.1 Cemento portland	9
2.2.1.1 Antecedentes históricos.....	9
2.2.1.2 Propiedades químicas	10
2.2.1.3 Propiedades físicas	11
2.2.2 Aglomerantes combinados o Cementos para albañiles.....	13
2.2.2.1 Cemento de escorias.....	15
2.3 Características Térmicas.....	15
2.3.1 Conductividad térmica	15
CAPÍTULO III	17
III. METODOLOGÍA Y MATERIALES	17
3.1 Materiales.....	17
3.1.1 Componentes de mezcla	17
3.1.1.1 Cemento Portland.....	17
3.1.1.2 Mortero de albañilería.....	18
3.1.1.3 Perlita molida expandida	18
3.1.2 Equipo de ensaye	18
3.1.2.1 Prensa Universal Versa-Tester.....	18

3.1.2.2	OMEGA OM-DAQPRO-5300.....	19
3.1.2.3	Sensor HFS-4.....	20
3.2	Metodología	22
3.2.1	Información de proyecto	22
3.2.2	Elaboración de especímenes	23
3.2.3	Resistencia a compresión.....	29
3.2.4	Prueba térmica (flujo térmico y temperatura).....	30
CAPÍTULO IV		33
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
4.1	Determinación de resistencia a mortero.....	33
4.2	Prueba térmica a mortero.....	38
4.3	Interpretación de resultados.....	41
4.3.1	Resultados de resistencia de mortero de perlita.....	41
4.3.2	Resultados de conductividad térmica.	42
4.4	Valoración de resultados.....	46
4.4.1	Resistencia de materiales.....	46
4.4.2	Conductividad térmica de materiales.....	47
CAPÍTULO V		48
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1	Conclusiones.....	48
5.2	Recomendaciones.....	50

Índice de tablas:

Tabla 1.	Información especímenes para prueba de capacidad de carga	22
Tabla 2	Resultados de pruebas de resistencia a compresión.	35
Tabla 3	Resultados de prueba de conductividad térmica mortero perlita 1:4.....	39
Tabla 4	Resultados de prueba de conductividad térmica mortero perlita 1:6.....	40
Tabla 5	Comparación morteros resistencia máxima alcanzada a 28 días.	46
Tabla 6	Comparación de resultado de conductividad térmica	47

Índice de figuras:

Figura 1. Espécimen colocado a ensaye en prensa Versa-Tester.	19
Figura 2. Consola OM-DAQPRO-5300	20
Figura 3 Sensor HFS-4	21
Figura 4. Moldes cilíndricos de PVC para especímenes.	24
Figura 5. Muestra de medición de aglomerante.	26
Figura 6. Imagen de componentes de mortero combinados.	27
Figura 7 . Elaboración de cilindro.	28
Figura 8. Especímenes terminados en proceso de fraguado.	28
Figura 9. Instalación terminada de placa y sensores.	32

Índice de gráficas:

Gráfica 1 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop. 1:8.	36
Gráfica 2 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop. 1:6.	36
Gráfica 3 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop.1:4.	37
Gráfica 4 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de albañilería perlita.	37
Gráfica 5 Curvas comparativas de morteros proporción 1:6 (cemento-perlita, mortero albañilería-perlita).	41
Gráfica 6 Curvas comparativas de proporciones de mortero cemento-perlita.	42
Gráfica 7 Resultados de prueba térmica mortero de perlita 1:4.	43
Gráfica 8 Resultados de prueba térmica mortero de perlita 1:6.	43
Gráfica 9 Parámetros mortero de perlita 1:4 Temperatura/Conductividad Térmica.	44
Gráfica 10 Parámetros mortero de perlita 1:6 Temperatura/Conductividad Térmica.	44
Gráfica 11 Distribución normal de conductividad térmica mortero perlita 1:4.	45
Gráfica 12 Distribución normal de conductividad térmica mortero perlita 1:6.	45

A continuación el lector conocerá las características de mortero de perlita, como la solución de un problema presente en la actualidad, que ha forzado a la búsqueda de alternativas. Los materiales utilizados en losas de azotea como de entrepiso tienden a ser pesados y obliga a utilizar en exceso material en la construcción; lo que genera aumento de dimensiones de las mismas estructuras, no cuentan con características de aislamiento térmico que son preponderantemente requeridas en el noroeste del país. Ya que se pretende fomentar el uso de materiales ligeros y aislantes en edificaciones casa-habitación.

El objetivo de la investigación es caracterizar tanto mecánica como térmicamente morteros de cemento-perlita bajo diferentes proporcionamientos. El número de pruebas de resistencia realizadas es de 40, mientras que las pruebas térmicas es la cantidad de 2.

Los hallazgos más importantes encontrados, es que la perlita no afecta la solidificación del cemento, de hecho ayuda a preservar la humedad de la mezcla, lo que beneficia la hidratación y el curado del concreto. La conductividad térmica se ve drásticamente reducida con el aumento de perlita en la mezcla, pero de igual forma la resistencia también se ve disminuida por la reducción del peso volumétrico de las muestras.

A manera de conclusión, la combinación de los materiales utilizados es una buena opción para el aligeramiento de losas en proyectos de casa-habitación, siendo adicionalmente un material térmico que favorece la disminución del consumo eléctrico. Contemplando también un factor importante en la reducción de cargas muertas y del material en la obra.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

Uno de factores importantes en la construcción es la selección de material, siendo una decisión importante a la hora de presupuestar costos y la toma de decisiones en el diseño estructural, dando un enfoque a la obtención de características de este peculiar material para el fomento de utilización de éste en obras civiles. Todos los estudios de fuerzas realizados en las instalación de ITSON (instituto tecnológico de sonora) haciendo uso del equipo vigente.

La mezcla a estudiar ya mencionada en el titulo de este proyecto, mortero de perlita, es una variante de los materiales utilizados para la aligeración de losas como relleno para la reducción de cargas muertas, ya que la economía actual requiere esta clase de ajustes técnicos en la construcción presente. Se realizaron estudios técnicos de determinación de resistencia, como también la determinación de su fiabilidad térmica, siendo algo necesario en zonas de temperaturas extremas y produciendo así una

reducción de costos económicos en consumo de servicios (haciendo referencia al consumo eléctrico residencial).

La perlita, el material clave en esta investigación, es mineral formado por silicatos de origen volcánico obtenidos de yacimientos, sea terrestre o marítimo, este mineral contiene agua en sus moléculas y tiene la peculiaridad de expandirse al someterse a altas temperaturas y, con ello, aumentar significativamente su volumen forma cavidades de aire para luego pasar por un refinamiento al triturarse, dicho lo anterior se le identifica como perlita expandida molida ya tratada para su uso en la construcción.

En el proyecto no sólo se realizó un mortero, para el estudio se trató de cubrir las variantes que pudieran presentarse como la cantidad apropiada de materiales cambiando la cantidad de aglomerante como también el tipo, para una comparación de su viabilidad de compra y si el rendimiento es suficiente para el propósito ejercido.

Con la información obtenida de la experimentación se plasmaron gráficas para su fácil interpretación y comprensión dando una explicación concisa a los resultados obtenidos, mostrándose en apartados con el propósito de aclarar toda duda referente a este proyecto.

1.1 Antecedentes

La perlita, no siendo un mineral tan común en la Republica Mexicana pero sí explotada para uso comercial, está siendo innovada para su utilización en morteros o en concretos ligeros. Es obtenida de yacimientos, un ejemplo es la presencia de esta en noroeste del país, aunque son pocas la compañías que la tratan para su refinamiento y venta, no es un material caro ni escaso, siendo cotidianamente para uso de sobretecho en viviendas para la reducción de demanda energética por sus propiedades térmicas identificándose como alternativa a los aislantes comerciales pero tienen la desventaja de un lapso de tiempo de caducidad y dejan de ser efectivos, lo cual nos deja una buena expectativa de este mineral al no contar con este factor por no ser en nada similar, sólo la finalidad de su uso.

La finalidad de este estudio es la determinación de características enfocadas en la resistencia y conductividad térmica de la mezcla de este material conocido como perlita, para determinar su viabilidad de uso en vivienda.

1.2 Planteamiento del problema

En la construcción convencional se utiliza material para sobretecho con una carga muerta elevada, incrementando las dimensiones de las estructuras de carga y costos de obra, desaprovechando áreas del terreno en construcción y los materiales no cuentan con las características de aislación térmica, forzando a la adaptación de nuevos materiales para este propósito. La importancia de la demanda de reducción de costos en obra radica en la reducción de carga muerta de losas de entrepiso como de azotea, en la realización o colado de losas ligeras que cumplan con los estándares de calidad y resistencia necesarios para su correcta funcionalidad. Llevando al incentivo de utilizar el mortero de perlita como esa alternativa para aligeramiento de losas, contando con características referentes al bloqueo de temperaturas.

1.3 Objetivo

El objetivo general del presente estudio es la determinación de parámetros de resistencia y conductividad térmica por medio de estudios experimentales para la comparación y valorización de la mezcla denominada mortero de perlita con sus respectivas variantes.

Un objetivo específico es la determinación de capacidad de carga a compresión de un mortero de perlita estándar junto con sus variaciones de proporciones de materiales.

Otro objetivo específico es comparar los resultados obtenidos en la determinación de conductividad térmica de un mortero de perlita con diversos materiales que tienen la misma finalidad o características similares.

1.4 Justificación

La importancia de este estudio es conocer e identificar, en relación al mortero de perlita, las variantes de proporciones de mezcla para su utilización en el campo de la construcción, accediendo al análisis de posibles deformaciones presentes al someterlo a capacidad de carga, así como su funcionamiento térmico al situarlo a un clima extremo de alta temperatura ambiental, la interpretación de los resultados obtenidos es el registro de datos en un estudio programado para el conocimiento de las limitantes que puede llegar a tener en relación a su resistencia, a su vez los resultados de conductividad térmica es enfocada a un estudio controlado con parámetros de tiempo y metodología, brindando resultados que posteriormente son comparados con otros materiales sometidos a la misma medición. Los benefactores son los ingenieros y contratistas enfocados en la reducción de costos y tiempos de procesos constructivos, junto con ellos ayuda directamente al cliente al consumir un producto de prestaciones altas y de notable mejora en clima y ecología.

1.5 Limitaciones del estudio.

Como todo proyecto se presentan limitantes, que se mencionan a continuación:

Sólo se obtuvo perlita de una fuente comercial local y no hubo comparación con otros productos en cuanto a la calidad de ésta, siendo un material comercializado en otras localidades de la Republica Mexicana.

En relación a las pruebas de mortero a capacidad de carga no se consideraron aditivos para el incremento de aglomeración y ningún otro.

El estudio no se realizó en un concreto ligero, ya que éste mostraría otros valores térmicos por las partículas que lo compondrían, como un incremento considerable a su resistencia por las diferencia en las partículas que lo componen, dando referencia a la grava, como tampoco se elaboraron pruebas de control con un mortero común (cemento-arena) es decir sin el uso de perlita.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

El presente apartado pretende mostrar información necesaria acerca de los materiales utilizados en el proyecto, obtenida de fuentes bibliográficas.

2.1 Aglomerados

Un aglomerado (agregado) se define como un material inerte que se presta a ser ligado por una matriz, para conformar una masa. Como tal el termino aglomerado incluye las arenas, gravas de mina y gravas trituradas normales que se usan para la elaboración de morteros, escayolas y concretos. Asimismo, comprende los materiales de peso ligero, como escorias, vermiculita y piedra pómez, que se emplean en enlucidos y concretos ligeros, sin embargo, no incluye la piedra o la arena finalmente pulverizadas que se suelen usar en combinación con el cemento, ya que para esos materiales es más adecuado el nombre de aditivos o rellenos.

Como sucede con el cemento, las propiedades de los aglomerados tienen menos importancia que la de los morteros y concreto elaborados con ellos. La cualidad más significativa de un aglomerado es su firmeza o estabilidad dimensional. Un concreto puede carecer de firmeza, aunque está elaborado con aglomerados firmes, cuando no se proporciona, maneja y cuela adecuadamente; sin embargo, ninguna precaución en los procedimientos permitirá elaborar un concreto firme con aglomerados con inestabilidad dimensional.

También son importantes, en cualquier aglomerado, la limpieza, resistencia y granulometría. Para casi todos los fines, el aglomerado debe estar libre de arcilla, limo, materia orgánica y sales. Esta limpieza no es difícil de lograr si se dispone de instalaciones para lavar el aglomerado; las arenas y gravas de minas pueden contener arcilla y suelo franco, si no se toman precauciones especiales durante su extracción. **[Dietz, 1991]**

2.1.1 Aglomerado de baja densidad

La creciente demanda en la industria de la construcción de hormigones de bajo peso volumétrico, ha creado la necesidad de recurrir a los agregados de tipo ligero. Materiales de este tipo nos los proporciona la naturaleza, o bien se obtienen artificialmente mediante la expansión por medio del calor de arcilla, pizarras arcillosas, perlita, vermiculita, etc.; mediante la expansión de escorias de altos hornos y por procedimientos especiales de refrigeración.

Las propiedades de los agregados ligeros son muy variables, por ejemplo, la resistencia de los concretos con arcilla y pizarras expansionadas o perlita con alto peso volumétrico, es relativamente alta y comparable a la del concreto ordinario. La piedra pómez, las escorias volcánicas y algunas escorias expansionadas producen concretos de resistencia intermedia; la vermiculita y la diatomita producen un concreto de poca resistencia. **[Saad, 1960]**

Estos aglomerantes son materiales como perlita, vermiculita exfoliada, piedra pómez, escorias ligeras, cenizas finas, toba (tezontle), diatomita, arcilla, pizarra y lutita. Al mezclar estos aglomerados con cemento, el concreto resultante también es de peso ligero y tiene muy baja conductividad térmica. La resistencia del concreto es casi inversamente proporcional al peso del agregado, aunque no siempre es fácil establecer comparaciones en vista de la dificultad que implica elaborar mezclas de concreto con este tipo de aglomerados como única variable.

Las normas C330, C331 Y C332 de la ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) exigen que los aglomerados ligeros para concreto estructurales y aislantes, y los que se usan para fabricar piezas de albañilería, consten principalmente de materiales inorgánicos porosos y granulares. En el caso del concreto estructural y el que sirve para fabricar piezas para obra de albañilería, el peso del material seco y flojo no debe ser más de 1180 kg/m³ en el caso de los aglomerados finos, 925 kg/m³ en el de los gruesos y 1100 kg/m³ cuando se combinan aglomerados finos y gruesos. La norma C332 divide en dos grupos los aglomerados para concretos aislantes. El grupo I consta de aglomerados como perlita y la vermiculita, que se elaboran por expansión de productos.

El peso de la perlita seca y floja debe ser entre 125 y 200 kg/m³ y el de la vermiculita, entre 90 y 170 kg/m³. Estos aglomerantes producen concretos que pesan de 250 a 850 kg/m³, con conductividad térmica máxima de 1.50 W/m*K. El grupo II contiene aglomerados como la piedra pómez las escorias y la toba, que se elaboran mediante el procesamiento de materias primas naturales, junto con los que se elaboran por calcinación, expansión o aglomeración de productos. En caso del grupo II, el peso de los materiales secos y flojos no debe ser de más de 1180 kg/m³ si los aglomerados son finos, 925 kg/m³ si son gruesos y 1100 kg/m³ si se trata de combinaciones de ambos tipos de aglomerados. En general, estos materiales producen concreto cuyos pesos van de 750 a 1500 kg/m³ y que tiene conductividad térmica máxima de 3.00W/m*K. **[Dietz, 1991]**

2.1.1.1 Perlita

La perlita es un material de origen volcánico que requiere un proceso industrial, por medio del cual se le infla, adquiriendo una estructura cavernosa de celdas no intercomunicadas. Ha sido en verdad una magnífica y reciente adición en el campo de los agregados, pues su excepcional resistencia en relación con su peso la hace útil para muchas aplicaciones. Como se le prepara industrialmente, su peso volumétrico puede controlarse y varía desde 320 a 800 kg /m³.

Este material de grandes ventajas en la dosificación de hormigones ligeros y con aplicaciones diversas, tanto en la industria de la construcción, donde se aprovecha además como material de aislamiento acústico y térmico, como en la industria de la refrigeración, se está beneficiando o fabricando en el Distrito Federal con el nombre de carlita, partiéndose de la roca volcánica denominada perlita, cuyos yacimientos principales se encuentran en el estado de Hidalgo. **[Saad, 1960]**

2.2 Aglomerantes y sus usos generales

Los aglomerantes, como material de liga, constituyen los morteros, mismos que en forma general se definen, como pastas blandas aglomerantes, obtenidas, amasando con agua ciertas substancias pulverulentas y que tienen la propiedad de endurecer o fraguar en contacto del aire, o del agua. De acuerdo con el aglomerante utilizado, el mortero resultante se denomina aéreo, cuando endurece al contacto con el aire, e hidráulico, cuando fragua además en contacto del agua o en ambiente húmedo. De lo asentado, podemos hacer la siguiente clasificación:

Morteros:

- Aéreos: De arcilla, De yeso, De cal.
- Hidráulicos: De yeso hidráulico, De cales hidráulicas, De cemento.
- Bituminosos. (Morteros asfálticos.) **[Saad, 1960]**

2.2.1 Cemento portland

Son los más comunes entre los cementos hidráulicos modernos. Se producen mezclando proporciones muy exactas de materiales calcáreos y argiláceos. Luego, la mezcla se calcina en un horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1500 °C, con lo que se forman bolas nebulizadas duras, llamadas Clinker o escorias. En seguida se muele el Clinker junto con un retardador (generalmente roca de yeso) hasta convertirlo en polvo finísimo, que se conoce como cemento portland.

Puesto que en la construcción es muy raro el uso de cementos sin aglomerados, para ingenieros civil son mucho más importantes las propiedades del producto final (mortero o concreto) que las propiedades del cemento con que se elabora éste. En gran medida, las propiedades de los morteros y concreto dependen de la cantidad y el tamaño de partículas de los aglomerados, la cantidad de agua con que se mezclan y el uso de aditivos.

Una de las propiedades de los morteros y concretos, la durabilidad, depende de la composición química del cemento usado. Por consiguiente, es importante tener en cuenta la composición de los diversos tipos de cemento y el efecto de dicha composición química sobre sus posibles aplicaciones. **[Dietz, 1991]**

2.2.1.1 Antecedentes históricos

Hasta principios del siglo XVIII, el término cemento se utilizaba para nombrar a todas las sustancias con propiedades aglutinantes.

El inicio de la época del cemento actual, es a partir de 1756 año en el cual J. Smeaton uso la magra calcinada de cal para la reconstrucción del faro de Eddingstone en Inglaterra.

Cuarenta años después, J. Parker patentó su cemento romano, el cual obtuvo calcinando módulos de caliza arcillosa. Pero el tipo de cemento más utilizado en la actualidad, es el cemento portland. Fue descubierto en 1824 por el maestro de obras ingles Joseph Aspdin.

En ese entonces, su obtención era a partir de una mezcla de cal y arcilla, la que después de calcinar, se reducía a polvo de producto resultante.

El nombre de portland se debe al parecido existente entre el color del cemento ya fraguado, con cierta cantera de la isla de Portland, Inglaterra.

Una breve reseña histórica de la producción industrializada del cemento, es la que se presenta a continuación.

1825 En Inglaterra se fabrica cemento en forma industrializada. Esta primera producción en el mundo se debe a James Frost.

1855 Fundación de las primeras plantas de cemento en Bélgica y Alemania.

1875 Instalación de la primera planta de cemento en Estados Unidos.

1906 Se establece la primera fábrica de cemento en México.

1910 En este año son ya 3 las fábricas de cemento que existen en México: La Hidalgo, La Cruz Azul y La Tolteca.

1980 El desarrollo del país ha sido tan vertiginoso, que actualmente funcionan 28 plantas productoras, de las cuales 25 funcionan como sociedades anónimas y 3 como sociedades cooperativas.

La distribución que de estas plantas se ha hecho en el territorio nacional, ha sido tan acertada, que ningún punto de la república se encuentra alejado más de 400 km de alguna planta productora de cemento. **[Materiales de construcción, 1977]**

2.2.1.2 Propiedades químicas

Al iniciar este subtema, es conveniente indicar cuáles son los principales componentes de un cemento:

Silicato tricálcico C3S

Silicato dicálcico C2S

Aluminato tricálcico C3A

Ferroaluminato tetracálcico C4AF.

Estos elementos constituyen alrededor del 90 % del cemento. A continuación, de cada uno de ellos se ha indicado la fórmula simplificada cementera utilizada para su denominación. El otro 10 % lo constituyen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, álcalis. Etc. **[López, 1973]**

A continuación se describe brevemente la función de cada uno de estos elementos en el cemento.

C3S Silicato Tricálcico: De este elemento dependen las resistencias que se obtengan hasta los 28 días aproximadamente.

C2S Silicato Dicálcico: Del C2S dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.

C3A Aluminato Tricálcico: Es el elemento que más calor genera en el cemento. De éste dependen las variaciones del volumen del cemento y la formación de grietas. Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.

C4AF Ferroaluminato Tetracálcico: Ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.

SO₄Ca Yeso: Regula la acción química entre el cemento y el agua y controla el tiempo de fraguado.

Considerando que los elementos antes indicados son los principales componentes del cemento, se considero conveniente no profundizar más en las propiedades de los demás elementos del cemento, ya que sale de los propósitos de este trabajo.

2.2.1.3 Propiedades físicas

Las propiedades físicas del cemento influirán en forma definitiva en la correcta utilización que de este producto se haga en los diversos procesos constructivos en los cuales sea empleado.

Algunas de estas propiedades son: la finura, la sanidad el tiempo de fraguado, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión, el calor de hidratación y el falso fraguado.

A continuación se describe cada una de estas propiedades en forma breve.

Finura: la finura del cemento interviene en forma determinante en la resistencia.

Conviene señalar que a mayor finura, la velocidad de hidratación del cemento se incrementará y en consecuencia la resistencia inicial será mayor, además de que el calor se generará más rápidamente. Las dimensiones de una partícula de cemento oscilan entre 7 y 60 micras.

Sanidad: sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado a permanencia con un volumen constante.

Estas variaciones al volumen son atribuidas a diversos compuestos, pero principalmente se presentan cuando existe cal libre después del fraguado inicial. Esta cal, al absorber agua, aumenta en forma notoria el volumen de la pasta.

Fraguado falso: Este fenómeno se presenta pocos minutos después de que el cemento ha hecho contacto con el agua. Consiste en el endurecimiento casi inmediato, es decir antes del tiempo normal de fraguado, de la mezcla, la causa del fraguado falso se origina cuando se deshidrata el yeso contenido en el cemento. Esta deshidratación ocurre en los molinos donde el Clinker y el yeso se muelen conjuntamente para obtener el cemento.

El fraguado falso afecta al concreto con los siguientes efectos:

- 1.- Se requerirá más agua en la mezcla.
- 2.- Consecuentemente la resistencia disminuirá.
- 3.- La cohesión entre agregados o entre el acero de refuerzo y el concreto se reducirá.
- 4.- Existirá mayor tendencia al agrietamiento.

5.- Se presentarán características de inclusión de aire equivocadas.

Calor de hidratación: Al contacto del cemento con el agua, se forma una mezcla, que con el tiempo irá endureciendo, pasando de un estado plástico a un estado sólido. La transición entre estos 2 estados se conoce con el nombre de fraguado.

El fraguado del cemento se efectúa por una reacción química que se da entre los elementos componentes del cemento y el agua. Esta reacción recibe el nombre de hidratación.

Tiempo de fraguado: considerando que fraguado es el proceso mediante el cual una pasta de cemento pasa del estado fluido del estado sólido, este proceso ha sido dividido en 2 etapas para su correcto estudio:

Fraguado inicial: considerado desde el momento en que el agua entra en contacto con el cemento, hasta que la aguja del aparato llamado de Vicat penetra 5 mm en la mezcla.

Fraguado final: para poder determinar cuándo ocurre esta etapa, es necesario recurrir a una aguja de sección curada de 1mm, con un cono metálico ahuecado de manera que tenga una arista contante de 5 mm. de diámetro y colocado 0.5 mm arriba del extremo de la aguja. Al poner estos implementos en contacto con la pasta, la aguja dejará una marca, no así el filo cortante del cono. **[López, 1973]**

2.2.2 Aglomerantes combinados o Cementos para albañiles

El aglomerante tradicional para preparar las argamasas o morteros destinados a la construcción de edificación era la cal; sin embargo, ésta va siendo substituida cada vez en mayor escala por el cemento o por los aglomerantes combinados. Esto se debe al deseo del técnico constructor de lograr mayor resistencia y, sobre todo, al deseo de obtener mayor rapidez en el desarrollo de las obras, ya que con el cemento o con los aglomerantes combinados se logra menor tiempo de fraguado y mayor resistencia.

Como los morteros de cemento tienen marcados inconvenientes como material para trabar o ligar obra de mampostería, dado que son ásperos y poco plásticos y aún cuando alcanzan altas resistencias a veces no adhieren bien los ladrillos, se ha preferido en los últimos tiempos el empleo de aglomerantes combinados llamados también cementos de albañilería y que, impropriamente, en el mercado nacional se les designa con el nombre de “morteros”.

Los inconvenientes que se marcan en los morteros a base de cementos se han tratado de explicar de varias maneras, tales como: la falta de plasticidad de la mezcla, su escasa capacidad para retener su agua contra el efecto de absorción de los ladrillos o tabiques que ha de ligar, por lo contracción que experimenta con el fraguado y por la poca elasticidad del material endurecido y por último, por su elevado costo para esta clase de obra.

Actualmente, en los países, principalmente en los Estados Unidos y en nuestro país existen en el mercado distintos aglomerantes combinados o cementos de albañilería que se manufacturan a base de los aglomerantes: cal y cemento portland normal, combinados entre sí o con materiales puzolánicos, o con materiales silicosos en forma de polvo y en proporciones convenientes. Los aglomerantes combinados que se expenden en el Distrito Federal con los nombres improprios de mortero “Tolteca”, “Plasto cemento”, plásticas y otros, son en realidad verdaderos aglomerantes combinados formados a base de cemento “portland” normal con cal aérea; “portland” normal con puzolanas naturales o artificiales; o una combinación de cemento “portland” normal con cal aérea y puzolana natural o artificial.

Los aglomerantes combinados proporcionan al constructor mayor plasticidad, mayor capacidad para retener su agua de amasado reduciendo así su contracción, mayor rapidez de fraguado y mayor resistencia que las cales aéreas y, por último, por su capacidad hidráulica, la ventaja de fraguar tanto al aire como también dentro del agua. **[Saad, 1960]**

2.2.2.1 Cemento de escorias

En este grupo de cementos, existen 3 tipos, diferenciados cada uno por la característica de la escoria y del aglomerante utilizado.

La fabricación de este cemento requiere de mezclar en frío de los siguientes elementos previamente pulverizados; escoria ácida, cal (hidratada o hidráulica) y un sulfato que actuará como acelerador del proceso de fraguado.

Debido a las escorias, el fraguado en el aire de un concreto elaborado a base de cemento de escorias es lentísimo, en medios sumergidos o semihúmedos es donde mayor resistencia alcanza. Durante su hidratación desprende poco calor, pero además es muy sensible a las bajas temperaturas, ya que éstas retardan su fraguado y disminuyen su resistencia.

Usos:

Se recomienda su utilización en colados donde se requieran grandes volúmenes de concreto. [López, 1973]

2.3 Características Térmicas

2.3.1 Conductividad térmica

Se representa con el símbolo (λ o K) y sus unidades son: ($W/m^{\circ}C$), en el trabajo realizado el aparato utilizado nos arrojará unidades (Btu/ft^2Hr) por lo que será necesario la utilización de conversiones para el cálculo de la conductividad térmica.

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y cada plano-paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado. La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material. Cuando el material aislante no es isótropo se necesita indicar la dirección de propagación del flujo calorífico; por ejemplo, para una muestra de madera hay que indicar si λ se refiere a la dirección normal a la fibra o

paralela a ella. Cuando el material está constituido por una sustancia porosa o similar, con poros y espacios libres relativamente pequeños y distribuidos en la masa del material de un modo prácticamente uniforme (sustancias macroscópicamente homogéneas), la definición de λ dada anteriormente permanece válida, Si, por otro lado, estos materiales son permeables al aire (particularmente en el caso de los materiales granulares, filamentosos, etc.) las diferencias de temperatura provocan movimientos convectivos que dependen de las características geométricas y puede llegar a no ser despreciable su influencia en la propagación de calor. **[Isover, 2011]**

CAPÍTULO III

III. METODOLOGÍA Y MATERIALES

3.1 Materiales

En el presente apartado se hace mención a los materiales utilizados para la mezcla de morteros a estudiar así como el equipo utilizado en su metodología de estudio.

3.1.1 Componentes de mezcla

3.1.1.1 Cemento Portland

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que cuando se mezcla con agregados y agua tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada concreto.

Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

3.1.1.2 Mortero de albañilería

Contiene cierta cantidad de cemento Portland, cal y otros complementos adhesivos, ya que la finalidad de éste es utilizarlo en el pegado de ladrillo o tabique y en aplanado de muros también es utilizado, aunque al comprar éste no hay diferencia en costo significativo (puede variar entre marcas de productos) en comparación al cemento Portland. Una de las diferencias sería la velocidad de secado.

3.1.1.3 Perlita molida expandida

Material cerámico que se obtiene mediante calor del mineral llamado perlita, lo que aumenta 10 veces su volumen. Este proceso se inicia con el lavado, trituración y finalmente el horneado, obteniéndose así el producto comercial perlita expandida, de uso común en construcción, o como sustrato en cultivos hidropónicos.

La principal característica en construcción es su peso liviano, al contener grandes cantidades de aire en su interior, proporciona excelentes características como aislante térmico, y sonoro.

3.1.2 Equipo de ensaye

Se utilizaron equipos para los ensayos de capacidad de carga y pruebas térmicas, a continuación mencionaremos las especificaciones técnicas de cada uno de ellos.

3.1.2.1 Prensa Universal Versa-Tester

Los especímenes serán sometidos a ensayos a compresión por medio de la prensa universal Versa- Tester (**véase Figura 1**), que se encuentra en el laboratorio de mecánica de materiales dentro del edificio LV-800 del Instituto Tecnológico de Sonora.

La prensa universal Versa-Tester está diseñada para probar todo tipo de materiales con un rango de resistencia de 60,000 lbf (268 KN). En la unidad está incorporado un microprocesador.

Es particularmente útil para probar especímenes de suelo, cemento y concretos asfálticos. El sistema hidráulico de control del probador Versa-Tester está diseñado para funcionar en un rango completo que le permite afrontar las necesidades normalmente requeridas por los materiales.

Los controles incluyen la válvula direccional para el movimiento ascendente o descendente de la cabeza de carga, además cuenta con una válvula de maniobra de índice que permite al operador aplicar manualmente la tensión variable o constante. La carga máxima puede estar también en pre-conjunto con la válvula de maniobra de índice para eliminar o repetir la comprobación de carga.



Figura 1. Espécimen colocado a ensaye en prensa Versa-Tester.

3.1.2.2 OMEGA OM-DAQPRO-5300

El OM-DAQPRO-5300 es una adquisición de ocho canales de datos portátil y sistema de registro con pantalla gráfica y construida en función de análisis de carga de datos, es alimentado por una batería interna recargable y es capaz de toma de muestras, procesamiento y visualización de las mediciones sin estar conectado a un ordenador. El OM-DAQPRO-5300 es un sistema profesional, compacto y autónomo de registro que se puede utilizar con una amplia variedad de aplicaciones. Este Datalogger 16-bits, de alta resolución, de ocho canales datalogger tiene pantallas gráficas y funciones de análisis para la medición de tensión, corriente y temperatura en tiempo real. Con su alta resolución y conversión de señal analógica a digital rápida (ADC), el OM-DAQPRO-5300 cumple con la mayoría de los requisitos de registro de datos en la mayoría de las aplicaciones industriales. Su capacidad única para analizar los valores medidos en tiempo real, mostrando en una interfaz gráfica

minimiza la necesidad de descargar los datos obtenidos a una computadora para su posterior análisis. Cada registro de datos OM-DAQPRO-5300 está integrado con un número de serie único y se puede cargar con un comentario descriptivo para una identificación segura. (Véase figura 2).



Figura 2. Consola OM-DAQPRO-5300

3.1.2.3 Sensor HFS-4

Cada sensor HFS funciona como un transductor de tipo termopila auto generada, no requiere cableado especial, uniones de referencia o acondicionamiento de señal, una lectura puede ser dada al conectar el sensor directamente a un voltímetro CD (micro volt). El sensor HFS está diseñado para mediciones de ganancia o pérdida de calor en cualquier superficie, éste puede ser montado en superficies planas o curvas.

El sensor también tiene un termopar integral para la medición de temperatura discreta necesaria para describir el flujo de calor.

- Dos niveles de sensibilidad de flujo de calor.
- Termopar tipo K estándar.

- Interfaces convenientes con voltímetros o grabadores e indicadores de temperatura.
- Se conecta fácilmente a superficies curvas y planas.

Existen distintas aplicaciones para este sensor, las cuales se listan a continuación:

- Determinación de propiedades térmicas de los materiales.
- Seguimiento de transferencia de calor estructural.
- Control de procesos de tratamiento térmico, Rolling Mills, y la producción de vidrio.
- Eficaz para la convección, conducción y transferencia de calor de radiación.
- Determinación de la pérdida de calor y eficiencia de aislamiento en la vivienda.
- Análisis de túneles aerodinámicos del viento.



Figura 3 Sensor HFS-4

3.2 Metodología

Toda experimentación conlleva un proceso y una metodología para la obtención de resultados, plasmando los pasos a seguir y facilitando la corrección de estos a ensayos posteriores, en el apartado presente se mencionan los pasos a seguir para la realización de los ensayos de resistencia del mortero de perlita, así como pruebas térmicas mostrando imágenes para un mejor entendimiento. Las pruebas se realizaron en las instalaciones del laboratorio de ingeniería Civil del ITSON facilitando el equipo para la elaboración de mezclas y ensaye requeridos durante el desarrollo del proyecto.

3.2.1 Información de proyecto

El proyecto consiste en dos tipos de ensayos clave; la prueba de resistencia a compresión y la prueba térmica del mortero, el mortero estudiado tuvo variantes con relación a su cantidad de aglomerante y aglomerado, ofreciendo una mayor cantidad de datos a la investigación para la comparación con relación al estudio.

La organización de los especímenes se catalogaron en 4 series, cada una de las series contaba con una relación diversa de material, las primeras 3 series corresponden al mortero constituido de cemento y perlita y la restante a un mezcla de mortero comercial (mortero de albañilería) con perlita (**véase Tabla 1**). Cada serie consta de 10 especímenes colados en varios moldes cilíndricos, correspondientes a pruebas de resistencia a compresión.

Tabla 1. Información especímenes para prueba de capacidad de carga

N° Serie	Aglomerante	Aglomerado	Proporción de mortero	N° de Especímenes
1	Cemento Portland	Perlita molida expandida	1:8	10
2	Cemento Portland	Perlita molida expandida	1:6	10
3	Cemento Portland	Perlita molida expandida	1:4	10
4	Mortero de Albañilería	Perlita molida expandida	1:6	10

Para las pruebas térmicas se realizaron 2 placas enfocadas únicamente en el mortero (cemento-perlita) tomando aquellas dosificaciones que son más factibles de realizarse en la práctica; en otras palabras se seleccionó los morteros con relación 1:4 y 1:6.

3.2.2 Elaboración de especímenes

Como todo lleva un proceso, se inició con la preparación de una serie (todas las series llevan el mismo proceso, sólo cambian las porciones de los materiales, pero antes se mostrará la lista de material y equipo utilizado.

Materiales utilizados en la elaboración de mortero de perlita (cemento-perlita) para relleno de losas aligeradas.

- Cemento Portland (costal 50 gr)
- Mortero de albañilería (35 gr)
- Perlita molida expandida (saco de 70 lts.)
- Agua (proveniente de toma).
- **Tubería PVC de 3 metros con diámetro de 3 “.

Equipo utilizado en la elaboración de mortero de perlita (cemento-perlita) para relleno de losas aligeradas.

- **Moldes PVC para ensaye. (Dimensiones 3” de altura por 3” de diámetro.)

Cantidad utilizada 40 piezas.

- 2 Marcos de madera (30cm por 30cm y 1 pulgada espesor).
- Charola circular.
- Charola rectangular (metro por medio metro).
- Bascula digital (capacidad máxima 5 kg)
- Probeta graduada (capacidad máxima 1 litro).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

- Cucharón metálico.
- Pisón metálico.
- Discos metálicos (utilizados como base para percusión de pisón)

** nota se utilizó la tubería PVC para la elaboración de moldes.

A continuación se redacta el proceso de la elaboración de los especímenes a evaluar, como primer paso es obtener todo el material mencionado anteriormente a manera de lista, las cantidades requeridas son mencionadas posteriormente, pero es necesaria la compra de los materiales, principalmente del cemento Portland, si se trata de un material expuesto por un tiempo prolongado al exterior tiende a perder propiedades.

Se requirieron moldes con dimensiones específicas para el cálculo de cantidades necesarias para cumplir con la relación de material solicitada, se utilizó una tubería PVC con diámetro de 3" longitud de 3 metros para obtener los moldes, se les realizó un corte longitudinal para permitir la retirada del espécimen, se obtuvieron 40 (**véase Figura 4**) moldes, se les colocó ligas para mantener unidos los cilindros, gracias a sus paredes lisas no es necesario el engrase de los mismos.



Figura 4. Moldes cilíndricos de PVC para especímenes.

Se continuó con el pesaje de material requerido para cada una de las series, realizando un recuento el mortero contiene 3 elementos para su realización, lo que lo distingue de un concreto común, ya que no cuenta con los aglomerados grava y arena en la mezcla. Los materiales que componen este mortero son, aglomerantes: cemento Portland y/o mortero de albañilería y como aglomerado la perlita expandida molida y, para la activación del aglomerante, agua.

Se realizó el pesaje de los aglomerantes con una báscula digital con capacidad de 5 kilogramos, utilizando una charola circular para tarar y obtener el peso, los pesos de cemento Portland como de mortero varían según la relación de la mezcla (**véase Figura 5**). Como componente de la mezcla, la perlita, por su parte, se mide por litros sea por sus características, se consideró para cada una de las 4 series una cantidad de 4.2 litros de perlita, cálculo realizado con anterioridad, la perlita tiende a soltar partículas finas que no deben ser inhaladas, se deben tomar las medidas preventivas correspondientes con su manejo, la cantidad de agua es algo importante a considerar en la utilización de este aglomerado (perlita) por su alta capacidad de absorción de agua, donde muestra su característica especial al absorber aumenta su volumen 15 ó 20 % en comparación a su estado seco, al saturarse también facilita su manejabilidad, se utilizó una relación 1:1 para la cantidad de agua, es decir, la cantidad de cemento o mortero (kilogramos) sería igual a la cantidad de mililitros en agua para su utilización en la mezcla, utilizamos la probeta graduada capacidad 1LT, para contar con la cantidad calculada.



Figura 5. Muestra de medición de aglomerante.

Al finalizar con la medición de cantidad de materiales se prosigue con su combinación, se colocan los materiales constituyentes de la mezcla en la charola rectangular mencionada con anterioridad (*véase Figura 6*) donde son depositados en su interior para facilitar su combinación utilizando las manos para su mezcla (esto debido a la escala del ensaye), hasta obtener una pasta homogénea con una humedad óptima es decir que sea fácil su manipulación (fácil unión de partículas) sin que esté sobresaturada.

La cantidad calculada es la correspondiente a 10 moldes, es decir, para el colado de 10 cilindros correspondiente a una serie considerando desperdicio, por lo que se entiende que este proceso se efectuó 5 veces más, para la realización de colado los especímenes fueron compactados con la ayuda de un pisón metálico, no se consideró un número de percusiones, estos muestran una facilidad de compactación gracias a su comportamiento de aglomerarse de la perlita. Ya que los moldes no cuentan con base se colocó una placa metálica para soportar los golpes y se pueden confinar el material en el interior de los moldes. La manera de acomodo de partículas es de las orillas del molde hacia el centro hasta contar con un material bien compactado (*véase Figura 4*). Como parte del proceso sigue el fraguado de los cilindros, se colocaron en un área que no pudiera ser alterada, sea por cambios climáticos o errores humanos, para que no se presenten fisuras en los mismos

especímenes que tendrían un efecto negativo a esta investigación. Se comprende que se cuenta con 10 cilindros para cada prueba, esto se debe a que se requiere hacer 5 pruebas de compactación en un tiempo determinado y se cuenta con 2 para cada uno como control a resultados con posibles fallas.



Figura 6. Imagen de componentes de mortero combinados.

Como parte del proyecto se necesitaban 2 placas con diferentes morteros, se utilizaron marcos de madera como moldes para el colado de los especímenes, se necesitaba una base plana por lo que se colocó un plástico para dar un acabado uniforme a la placa, se puede utilizar cualquier base plana, el inconveniente radica en que no se pueden mover una vez que estos son colados, y se procede a compactar con un pisón metálico también utilizado para los cilindros, el proceso de mezclado es el mismo, las cantidades fueron aumentadas para cumplir con el espesor adecuado de las placas pero cumpliendo con la relación cemento-perlita requerida.



Figura 7 . Elaboración de cilindro.



Figura 8. Especímenes terminados en proceso de fraguado.

Resumen de proceso:

- Obtención de todo material y equipo.
- Medida de cantidades de aglomerantes y aglomerado correspondiendo a sus unidades en kilogramos como en litros.
- Mezcla de todos los componentes de mortero (variando cantidades según sea su proporción cemento-perlita).

- Colado de especímenes 40 cilindros, 2 placas (proporciones 1:4 y 1:6) por medio de compactación.
- Espera de fraguado dependiendo de la programación de pruebas.

3.2.3 Resistencia a compresión.

Equipo utilizado:

- Prensa universal Versa-Tester de 30 ton para prueba de resistencia máxima a la compresión (sensor de carga en klb).

Especímenes a ensaye:

- 30 cilindros de mortero (cemento-perlita)
- 10 cilindros de mortero (mortero de albañilería-perlita).

El método de prueba para determinar la resistencia a compresión es una prueba realizada a los materiales en una prensa universal, la carga de compresión se va aplicando gradualmente hasta la falla. En el proceso se lleva registro de la carga aplicada y la deformación correspondiente en la probeta.

Una vez colados los especímenes (**véase Figura 8**) se debe esperar a que las probetas desarrollen su fraguado. Para medir la evolución de la resistencia en el tiempo se realizan ensayos a 3, 7, 14, 21 y 28 días, siendo este último el tiempo en que se alcanza la resistencia de diseño en las probetas.

La cantidad total de cilindros ensayados es de 40, de cada periodo (como inicial 3 días) se probaron 8 especímenes, hasta cumplir con el proyecto, el equipo anteriormente mencionado la prensa universal Versa-Tester, es un equipo que cuenta con una consola que muestra y registra la carga que aplica, se colocan placas de neopreno para que la carga se distribuya uniformemente al cilindro y no se incline la plataforma a un extremo (**véase Figura 1**).

El descimbrado de los especímenes se realizó cuando estos eran requeridos para la prueba, antes de su colocación en la prensa se registraron las características de cada uno de los especímenes refiriéndolos a su peso y dimensiones.

Cada espécimen presentaba diferentes pesos y dimensiones. Se colocan los especímenes en prensa y se registraron los datos mostrados en la consola de este equipo al contar con un sensor que registra la cantidad de carga que soporta el espécimen en ensaye. Al someterlos a carga la forma de falla normal consistía en un patrón de fisuras verticales ocasionadas por esfuerzos de tensión en la dirección horizontal.

Se registraron los datos en bitácora hasta llegar al día 28 de ensaye, realizándolo a los 40 especímenes.

Resumen de método:

- Descimbrado de especímenes según sea la fecha de registro.
- Toma de medidas de dimensiones de cilindros y peso de los mismos.
- Colocación de placas de caucho (nivelación de especímenes en placas de equipo).
- Empezar la ascendencia de la prensa gradualmente (de manera lenta) para un mejor registro al presentarse la falla.
- Realizar paso anterior para las series restantes.

3.2.4 Prueba térmica (flujo térmico y temperatura)

Equipo utilizado:

- Consola OMEGA OM-DAQ (prueba térmica)
- Sensor HFS-4.

Especímenes a ensayar:

- 2 placas de mortero (cemento-perlita).

Para la metodología de esta prueba, es necesario contar con las 2 placas previamente coladas, se descimbran al esperar los 28 días ya que no se desea que estas se fracturen al colocarlas, se obtiene el peso y se toman las medidas para la determinación del peso volumétrico de cada probeta, se conto con un equipo que consiste en una cámara aislada por medio de poliestireno extruido para medir la conductividad de cada probeta.

La colocación de la placa lleva un proceso que es primeramente acondicionar el clima interior al colocar una bolsa de hielo, para garantizar una temperatura baja al interior de la cámara. En el exterior la probeta está expuesta a temperaturas que corresponden a las condiciones ambientales. Se necesita instalar la consola con sus sensores correspondientes. El equipo puede llevar el registro hasta de 4 sensores, pero en esta ocasión solo se utilizaron 2.

La orientación de la probeta debe ser hacia la dirección mas soleada, para esta región corresponde al sur-oeste.

Los sensores son láminas constituidas de plástico y materiales conductores (resistencias eléctricas) que miden directamente el flujo de calor que va pasando a través de la probeta en cada instante de tiempo. La colocación de estos sensores de flujo térmico preferente debe ser al centro de las placas.

Se coloca un sensor en la cara exterior y en la cara interior de la placa a estudiar. Los sensores se fijaron al espécimen por medio de cinta adhesiva. Una vez colocada la probeta en el contenedor (**véase Figura 9**), para evitar la entrada de calor por las esquinas de la placa se coloca un marco de poliestireno extruido, se configura la consola para comenzar el registro de datos (se protege el equipo para que no esté expuesto directamente al sol). La duración de la prueba es por un lapso de 24 horas y el equipo se configura para que registre temperaturas y voltajes cada minuto lo cual garantiza una gran exactitud al contar con bastantes datos al momento de su interpretación.



Figura 9. Instalación terminada de placa y sensores.

Resumen de método:

- Descimbrado de placas, verificar acabados finos.
- Colocación de bolsa de hielo en interior de contenedor.
- Instalación de sensores en ambas caras de placa (HFS-4).
- Colocar la placa de prueba en contenedor, verificar que no se presente estiramiento en el alambrado.
- Aislamiento de los bordes de la placa al colocar marco de poliestireno.
- Reiniciar el equipo de adquisición de datos y esperar 24 horas para su retiro.

CAPÍTULO IV

IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de los ensayos efectuados en este proyecto, dando referencia a las pruebas de resistencia a compresión, así como de las pruebas térmicas realizadas a los morteros estudiados. La información es representada en tablas y gráficas para un mejor entendimiento de lo que se está planteando, con su explicación para cada una de ellas. El propósito de este proyecto es la determinación de la resistencia y conductividad térmica del mortero de perlita, pero de la misma forma se muestran los resultados de sus variantes y su comparación para valorizar el estudio realizado.

4.1 Determinación de resistencia a mortero.

La prueba de resistencia a compresión se realizó completamente en un periodo de 28 días para cada una de las series estudiadas, se registraron todos los datos necesarios para la elaboración de cálculos requeridos, se utilizó la herramienta digital Excel para la programación de fórmulas y resolución de las mismas, las ecuaciones

utilizadas son para la determinación de peso volumétrico como también en la determinación de la resistencia a compresión para cada una de las pruebas efectuadas (**Véase Tabla 2**). Se pueden observar los registros de mediciones y pruebas de resistencia a compresión con su respectiva fecha de elaboración y ensaye.

Para la serie 1 con proporción 1:8 de mortero (cemento-perlita) (**véase Gráfica 1**) muestra los resultados calculados de resistencia en relación a la edad; se puede observar la ascendencia de resistencia en el transcurso del tiempo, llegando a su valor máximo de 11.41kgf/cm².

Para la serie 2 con proporción 1:6 de mortero (cemento-perlita) (**véase Gráfica 2**), se observa la ascendencia en resistencia hasta llegar a su máximo registrado de 20.38 kgf/cm².

Para la serie 3 con proporción 1:4 de mortero (cemento-perlita), (**véase Gráfica 3**) siendo éste el de mayor cantidad de cemento en mezcla, se observa su ascendencia hasta llegar a un valor máximo de 28.06 kgf/cm²

Para la serie 4 con proporción 1:6 de mortero (mortero de albañilería –perlita), (**véase Gráfica 4**) un mortero diferente a los anteriores muestra su aumento de resistencia hasta 13.20 kgf/cm².

CAPÍTULO IV RESULTADOS

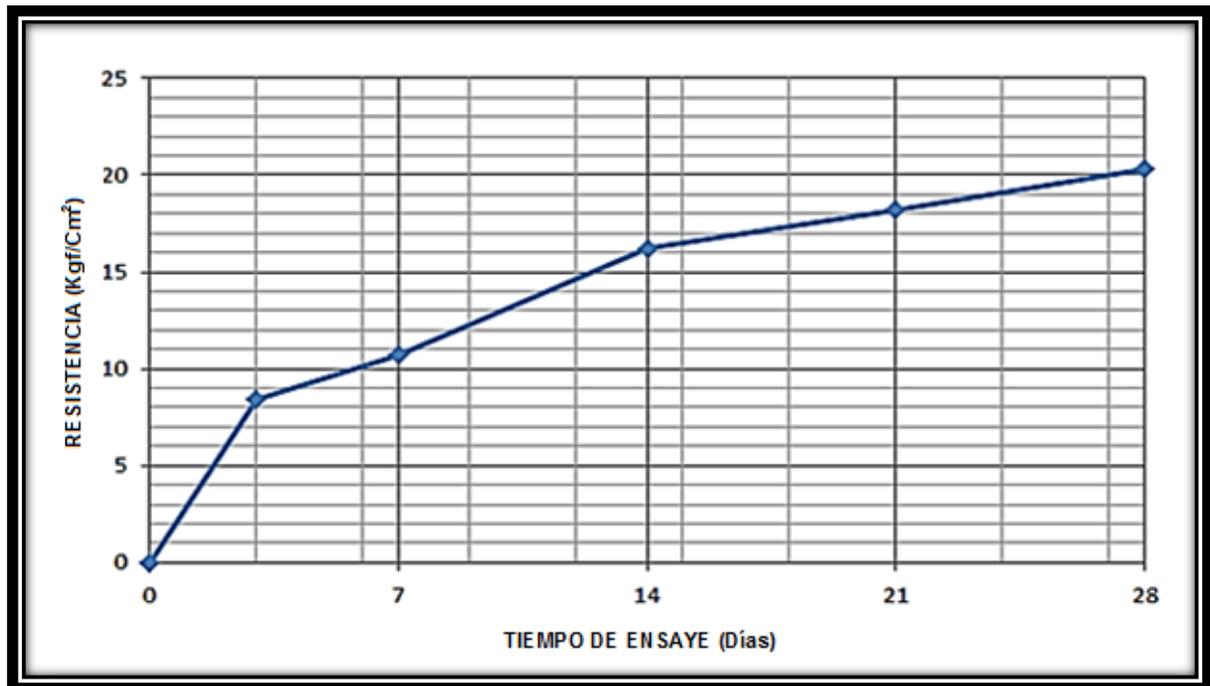
Tabla 2 Resultados de pruebas de resistencia a compresión.

Especímenes	Relación			Proporciones				Dimensiones de Cilindros PVC				Peso	Peso Volumétrico	Peso vol. Propuesto	Carga Máxima	Carga Máxima	Resistencia	Resistencia Ecuación	Fecha/ Notas		
	Cemento	Mortero de albañilería	Perlita	Cemento	Mortero de albañilería	Perlita	Agua	Edad de Ensayo	Diámetro	Altura	Área								Volumen cilindro	gr	kg/m ³
	kg	kg	lts	kg	kg	litros	litros	Días	cm	cm	cm ²	cm ³		kg/m ³	kg/m ³			kgf/cm ²	kgf/cm ²		
M1-1	1		8	0.53		4.2	0.53	3	7.02	7.85	38.67	303.54	218.00	718.18	660.00	280.00	127.01	3.28	2.91	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M1-2	1		8	0.53		4.2	0.53	3	7.15	7.00	40.15	281.06	191.00	679.57	660.00	255.00	115.67	2.88	2.91	Ensayado	Jueves 23 de Febrero de 2012.
M1-3	1		8	0.53		4.2	0.53	7	7.00	7.40	38.48	284.79	193.10	678.05	660.00	330.00	149.68	3.89	5.81	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M1-4	1		8	0.53		4.2	0.53	7	7.03	7.53	38.76	291.86	213.00	729.80	660.00	575.00	260.81	6.73	5.81	Ensayado	Lunes 27 de Febrero de 2012.
M1-5	1		8	0.53		4.2	0.53	14	7.10	7.40	39.59	292.98	193.90	661.82	660.00	530.00	240.40	6.07	9.91	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M1-6	1		8	0.53		4.2	0.53	14	7.05	7.40	39.04	288.87	193.10	668.47	660.00	610.00	276.69	7.09	9.91	Ensayado	Lunes 05 de Marzo de 2012.
M1-7	1		8	0.53		4.2	0.53	21	7.05	7.30	39.04	284.97	176.00	617.62	660.00	260.00	117.93	3.02	10.78	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M1-8	1		8	0.53		4.2	0.53	21	7.06	7.42	39.17	290.55	180.00	619.52	660.00	310.00	140.61	3.59	10.78	Ensayado	Lunes 12 de Marzo de 2012.
M1-9	1		8	0.53		4.2	0.53	28	7.10	7.53	39.59	298.13	184.00	617.18	660.00	500.00	226.80	5.73	11.41	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M1-10	1		8	0.53		4.2	0.53	28	7.11	7.50	39.73	297.99	179.00	600.70	660.00	330.00	149.68	3.77	11.41	Ensayado	Lunes 19 de Marzo de 2012.
M2-1	1		6	0.70		4.2	0.70	3	7.10	7.53	39.59	297.93	217.00	728.36	774.00	725.00	328.85	8.31	8.47	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M2-2	1		6	0.70		4.2	0.70	3	7.25	7.63	41.28	315.12	238.00	755.26	774.00	880.00	399.16	9.67	8.47	Ensayado	Jueves 23 de Febrero de 2012.
M2-3	1		6	0.70		4.2	0.70	7	7.15	7.93	40.15	318.52	193.10	606.24	774.00	730.00	331.12	8.25	10.76	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M2-4	1		6	0.70		4.2	0.70	7	6.99	7.80	38.35	299.11	213.00	712.12	774.00	430.00	195.04	5.09	10.76	Ensayado	Lunes 27 de Febrero de 2012.
M2-5	1		6	0.70		4.2	0.70	14	7.13	7.65	39.96	305.73	228.40	747.07	774.00	650.00	294.83	7.38	16.27	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M2-6	1		6	0.70		4.2	0.70	14	7.02	7.38	38.67	285.18	184.50	646.97	774.00	1335.00	605.54	15.66	16.27	Ensayado	Lunes 05 de Marzo de 2012.
M2-7	1		6	0.70		4.2	0.70	21	7.10	7.51	39.59	297.34	175.00	588.56	774.00	525.00	238.13	6.01	19.23	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M2-8	1		6	0.70		4.2	0.70	21	7.08	7.40	39.37	291.33	196.00	672.77	774.00	750.00	340.19	8.64	19.23	Ensayado	Lunes 12 de Marzo de 2012.
M2-9	1		6	0.70		4.2	0.70	28	7.11	7.84	39.73	311.50	186.00	597.12	774.00	720.00	326.58	8.22	20.38	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M2-10	1		6	0.70		4.2	0.70	28	7.09	7.84	39.48	309.33	184.00	594.83	774.00	600.00	272.15	6.89	20.38	Ensayado	Lunes 19 de Marzo de 2012.
M3-1*	1		4	1.05		4.2	1.05	3	7.12	5.27	39.78	209.50	197.00	940.34	887.00	1400.00	635.03	15.96	13.23	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M3-2*	1		4	1.05		4.2	1.05	3	7.03	5.12	38.85	198.79	201.00	1011.11	887.00	1430.00	648.63	16.70	13.23	Ensayado	Jueves 23 de Febrero de 2012.
M3-3	1		4	1.05		4.2	1.05	7	7.03	7.75	38.76	300.39	276.50	920.47	887.00	1595.00	723.48	18.67	14.98	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M3-4	1		4	1.05		4.2	1.05	7	7.10	7.55	39.59	298.92	259.90	869.46	887.00	1290.00	585.13	14.78	14.98	Ensayado	Lunes 27 de Febrero de 2012.
M3-5	1		4	1.05		4.2	1.05	14	7.03	7.85	38.85	304.99	248.60	815.12	887.00	2545.00	1154.39	29.71	21.71	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M3-6	1		4	1.05		4.2	1.05	14	7.18	7.58	40.53	307.31	304.40	990.52	887.00	2050.00	929.86	22.94	21.71	Ensayado	Lunes 05 de Marzo de 2012.
M3-7	1		4	1.05		4.2	1.05	21	7.16	8.00	40.21	321.46	291.00	905.24	887.00	1880.00	852.75	21.21	26.70	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M3-8	1		4	1.05		4.2	1.05	21	7.14	7.90	40.04	316.31	279.00	882.04	887.00	2010.00	911.72	22.77	26.70	Ensayado	Lunes 12 de Marzo de 2012.
M3-9	1		4	1.05		4.2	1.05	28	7.13	7.89	39.96	315.16	276.00	875.75	887.00	2300.00	1043.26	26.11	28.06	Elaborado	Lunes 20 de Febrero de 2012.
M3-10	1		4	1.05		4.2	1.05	28	7.19	7.96	40.57	322.97	269.00	832.90	887.00	2340.00	1061.40	26.16	28.06	Ensayado	Lunes 19 de Marzo de 2012.
M4-1		1	6		0.70	4.2	0.70	3	7.20	7.73	40.72	314.73	223.70	710.77	732.00	400.00	181.44	4.46	5.70	Elaborado	Viernes 24 de Febrero de 2012.
M4-2		1	6		0.70	4.2	0.70	3	7.02	7.53	38.67	291.04	215.70	741.14	732.00	530.00	240.40	6.22	5.70	Ensayado	Lunes 27 de Febrero de 2012.
M4-3		1	6		0.70	4.2	0.70	7	7.09	7.55	39.45	297.87	228.80	768.13	732.00	830.00	376.48	9.54	8.47	Elaborado	Viernes 24 de Febrero de 2012.
M4-4		1	6		0.70	4.2	0.70	7	7.11	7.90	39.73	313.88	213.60	680.52	732.00	600.00	272.15	6.85	8.47	Ensayado	Viernes 02 de Marzo de 2012.
M4-5		1	6		0.70	4.2	0.70	14	7.13	7.74	39.96	309.35	240.40	777.10	732.00	1250.00	566.99	14.19	10.58	Elaborado	Viernes 24 de Febrero de 2012.
M4-6		1	6		0.70	4.2	0.70	14	7.08	7.15	39.31	281.09	220.40	784.08	732.00	1245.00	564.72	14.36	10.58	Ensayado	Viernes 09 de Marzo de 2012.
M4-7		1	6		0.70	4.2	0.70	21	7.08	7.92	39.32	311.57	213.00	683.63	732.00	905.00	410.50	10.44	12.96	Elaborado	Viernes 24 de Febrero de 2012.
M4-8		1	6		0.70	4.2	0.70	21	7.10	7.85	39.56	310.58	201.70	649.43	732.00	745.00	337.92	8.54	12.96	Ensayado	Viernes 16 de Marzo de 2012.
M4-9		1	6		0.70	4.2	0.70	28	7.08	7.67	39.32	301.49	196.00	650.10	732.00	720.00	326.58	8.30	13.20	Elaborado	Viernes 24 de Febrero de 2012.
M4-10		1	6		0.70	4.2	0.70	28	7.11	7.78	39.67	308.44	222.00	719.74	732.00	1025.00	464.93	11.72	13.20	Ensayado	Viernes 23 de Marzo de 2012.

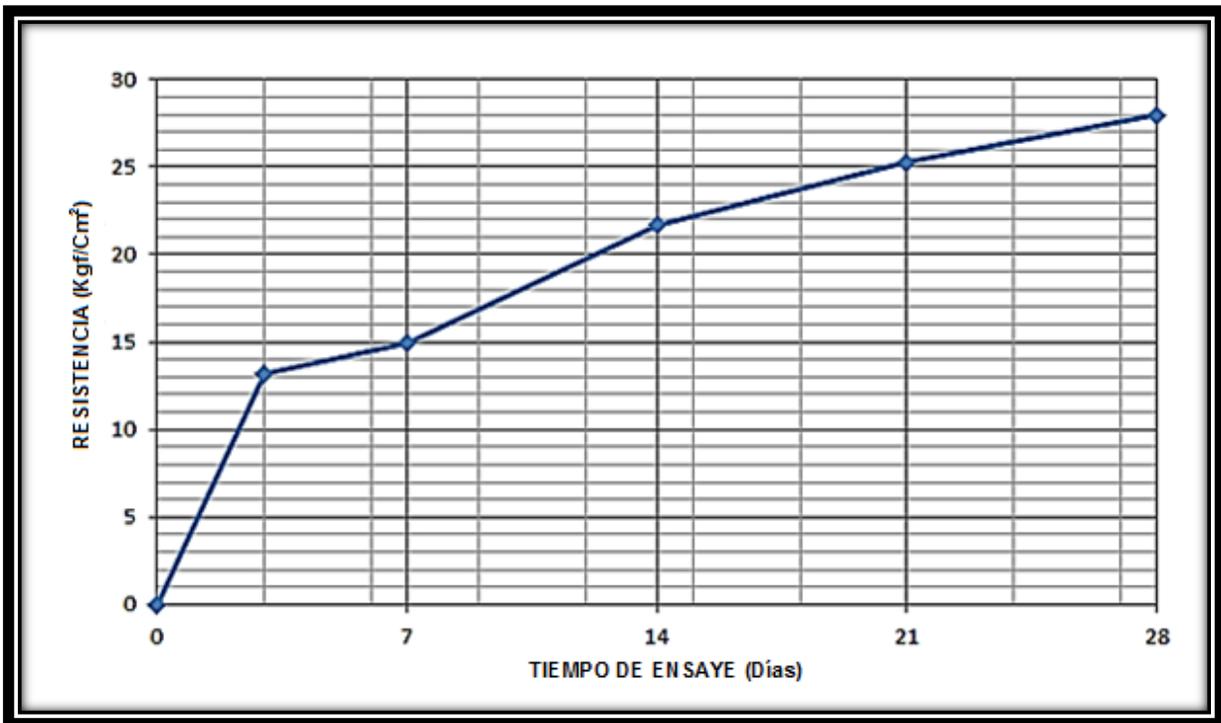
* M3-1, M3-2 presentan dimensiones distintas a los especímenes próximos (su altura es menor).



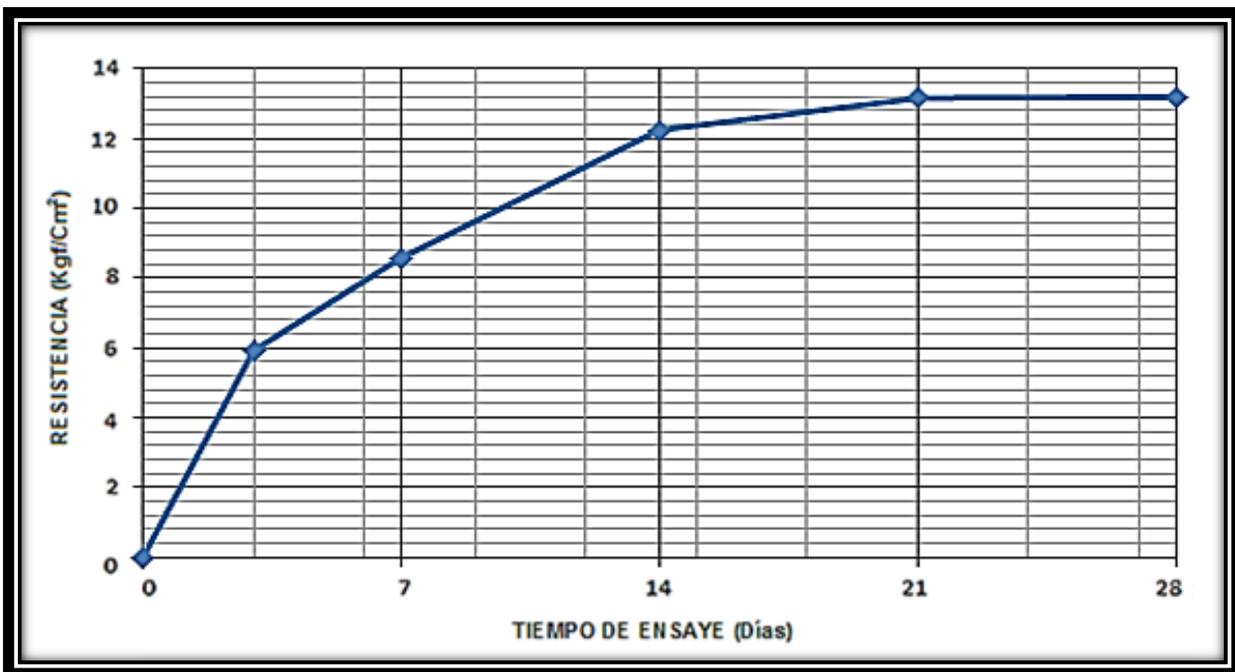
Gráfica 1 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop. 1:8.



Gráfica 2 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop. 1:6.



Gráfica 3 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de perlita prop.1:4.



Gráfica 4 Curva de Resistencia vs Tiempo de mortero de albañilería perlita.

4.2 Prueba térmica a mortero

Para la determinación de conductividad térmica (K) se realizaron hojas de cálculo digitales (EXCEL) para su registro y manipulación con las ecuaciones necesarias, el equipo utilizado para este estudio cuenta con una consola datalogger (OMEGA OM) que almacena las mediciones minuto a minuto (voltaje y temperatura), dicha consola cuenta con memoria que puede usarse para almacenar y transferir datos.

Se realizó el estudio a dos placas de mortero constituido de cemento portland y perlita expandida molida, la primera de las placas tiene una proporción 1:4 (**véase Tabla 3**) la segunda placa tiene una proporción 1:6 (**véase Tabla 4**) ambas cuentan con su tabla de registro mostrando el lapso de tiempo cuando se presenta mayor intensidad de calor (valores significativos), aunque el estudio se realizó durante 24 horas se considero a partir de las 11 a 14 horas registrando los valores más altos, se muestran los resultados de los cálculos necesarios para la determinación de la conductividad térmica, mostrando valores máximos y mínimos, así como su promedio.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

Tabla 3 Resultados de prueba de conductividad térmica mortero perlita 1:4

RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONDUCCIÓN TÉRMICAS:				MORTERO (CEMENTO-PERLITA EXPANDIDA) RELACIÓN 1:4			
FECHA DE PRUEBA :		06 DE JUNIO DE 2012					
NÚMERO DE MUESTRA:		1/2					
INFORMACIÓN DE EQUIPO:				INFORMACIÓN DE ESPÉCIMEN:			
EQUIPO: OMEGA OM-DAQPRO-5300.				W (kg):	2.386	Area (m ²):	0.0843
NÚMERO DE SERIE: 901371				H (kg) :	0.0269	ρ(Kg/m ³) :	1053
TABLA DE RESULTADOS LECTURA.							
Registro de tiempo	Voltaje Ext(mV)	Temperatura Ext(°C)	Voltaje Int(mV)	Temperatura Int(°C)	ΔT(°C)	q (W/m ²)	k=q*h/ΔT (W/m°C)
11:21	0.26	41.87	-0.155	30.7	11	162.75	0.39
11:23	0.257	41.428	-0.161	29.695	12	169.05	0.39
11:25	0.261	42.074	-0.159	29.1	13	166.95	0.35
11:27	0.256	41.224	-0.162	28.75	12	170.1	0.37
11:29	0.264	42.788	-0.171	28.365	14	179.55	0.33
11:31	0.263	42.55	-0.151	28.4	14	158.55	0.30
11:33	0.259	41.802	-0.175	27.945	14	183.75	0.36
11:35	0.267	43.332	-0.177	27.385	16	185.85	0.31
11:37	0.261	42.244	-0.181	27.56	15	190.05	0.35
11:39	0.254	40.646	-0.182	27.84	13	191.1	0.40
11:41	0.259	41.768	-0.184	27.805	14	193.2	0.37
11:43	0.26	41.836	-0.184	27.875	14	193.2	0.37
11:45	0.269	43.774	-0.187	27.525	16	196.35	0.33
11:47	0.266	43.094	-0.189	27.98	15	198.45	0.35
11:49	0.267	43.332	-0.188	28.225	15	197.4	0.35
11:51	0.267	43.434	-0.191	28.715	15	200.55	0.37
11:53	0.266	43.196	-0.188	28.61	15	197.4	0.36
11:55	0.27	43.91	-0.191	28.435	15	200.55	0.35
11:57	0.269	43.706	-0.194	29.065	15	203.7	0.37
11:59	0.275	44.93	-0.188	27.49	17	197.4	0.30
12:01	0.27	44.08	-0.188	27.875	16	197.4	0.33
12:03	0.265	43.026	-0.194	28.365	15	203.7	0.37
12:05	0.273	44.556	-0.194	28.68	16	203.7	0.35
12:07	0.273	44.658	-0.195	28.295	16	204.75	0.34
12:09	0.267	43.332	-0.198	28.295	15	207.9	0.37
12:11	0.27	43.978	-0.189	28.155	16	198.45	0.34
12:13	0.27	43.91	-0.194	29.17	15	203.7	0.37
12:15	0.273	44.59	-0.195	29.135	15	204.75	0.36
12:17	0.276	45.236	-0.197	28.82	16	206.85	0.34
12:19	0.281	46.188	-0.195	28.645	18	204.75	0.31
12:21	0.271	44.182	-0.199	28.365	16	208.95	0.36
12:23	0.267	43.332	-0.201	28.715	15	211.05	0.39
12:25	0.277	45.44	-0.197	30.14	15	206.85	0.36
12:27	0.275	45.1	-0.199	29.555	16	208.95	0.36
12:29	0.273	44.59	-0.202	30	15	212.1	0.39
12:31	0.273	44.59	-0.165	30.21	14	173.25	0.32
12:33	0.282	46.392	-0.202	29.38	17	212.1	0.34
12:35	0.275	44.93	-0.198	28.995	16	207.9	0.35
12:37	0.274	44.896	-0.198	29.695	15	207.9	0.37
12:39	0.281	46.154	-0.201	29.765	16	211.05	0.35
12:41	0.27	44.08	-0.199	30.385	14	208.95	0.41
12:43	0.271	44.148	-0.199	30.21	14	208.95	0.40
12:45	0.27	43.91	-0.198	30.315	14	207.9	0.41
* Se consideraron más intervalos de tiempo para los resultados obtenidos en esta prueba.							
resultados obtenidos durante 24 horas .				especificaciones sobre prueba.			
conductividad térmica (W/m°C):				Se realizó la prueba durante 24 horas sin alteración alguna. El equipo efectuaba registro cada minuto hasta cumplir el tiempo determinado. En la gráficas mostradas se consideró las temperaturas más elevadas por lo tanto se utilizaron los datos obtenidos durante las 11 a 15 horas.			
Promedio	0.37						
Desviación estándar	0.03						
Máxima	0.46						
Mínimo	0.30						

CAPÍTULO IV RESULTADOS

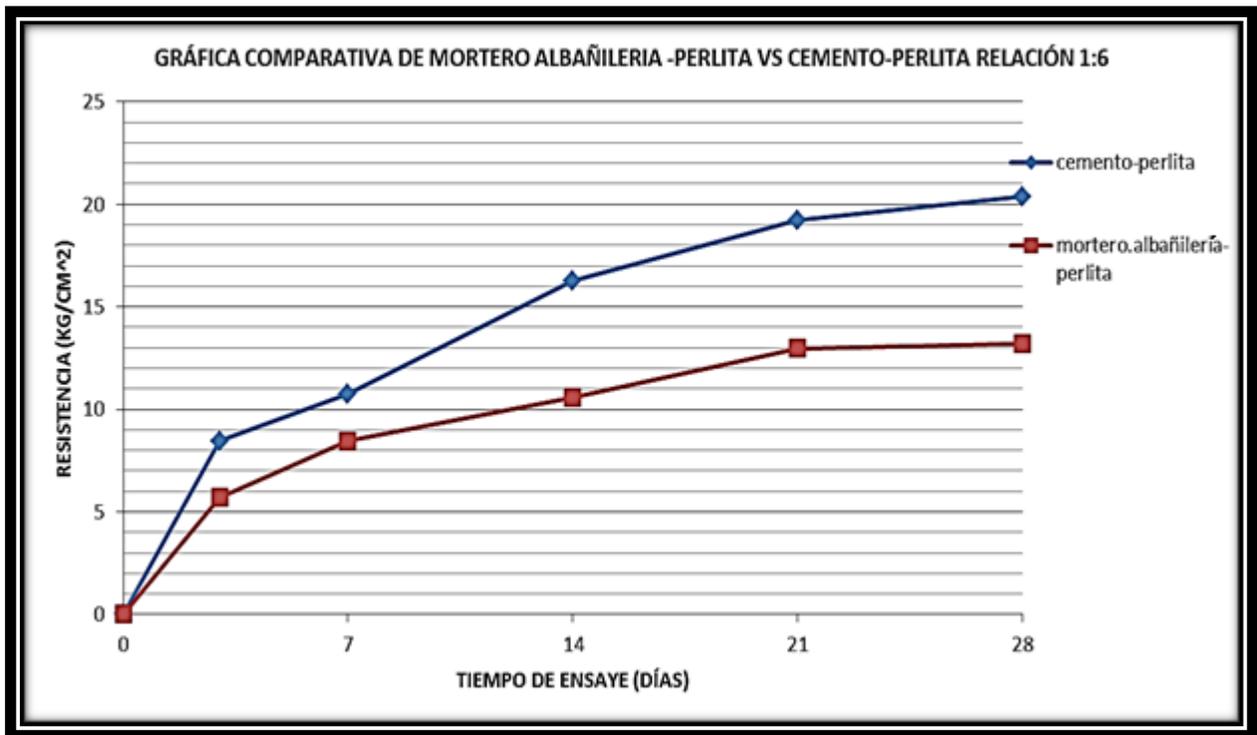
Tabla 4 Resultados de prueba de conductividad térmica mortero perlita 1:6

RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONDUCCIÓN TÉRMICAS:				MORTERO (CEMENTO-PERLITA EXPANDIDA) RELACIÓN 1:6			
FECHA DE PRUEBA :		05 DE JUNIO DE 2012					
NÚMERO DE MUESTRA:		2 / 2					
INFORMACIÓN DE EQUIPO:				INFORMACIÓN DE ESPÉCIMEN:			
EQUIPO: OMEGA OM-DAQPRO-5300.				W (kg):	1.733	Area (m ²):	0.0847
NÚMERO DE SERIE: 901371				H (kg):	0.0255	ρ(Kg/m ³):	803
TABLA DE RESULTADOS LECTURA.							
Registro de tiempo	Voltaje Ext(mV)	Temperatura Ext(°C)	Voltaje Int(mV)	Temperatura Int(°C)	ΔT(°C)	q (W/m ²)	k=q*h/ΔT (W/m°C)
11:21	0.0904	40.306	0.047	28.085	12	49.35	0.10
11:23	0.0927	40.918	0.046	27.735	13	48.3	0.09
11:25	0.0985	42.516	0.047	27.28	15	49.35	0.08
11:27	0.0958	41.768	0.046	27.42	14	48.3	0.09
11:29	0.0987	42.55	0.047	28.05	15	49.35	0.09
11:31	0.0996	42.006	0.07	28.995	13	73.5	0.14
11:33	0.1018	43.4	0.048	28.995	14	50.4	0.09
11:35	0.1054	44.386	0.056	28.505	16	58.8	0.09
11:37	0.1004	43.026	0.051	29.205	14	53.55	0.10
11:39	0.1034	43.842	0.047	29.345	14	49.35	0.09
11:41	0.1063	44.624	0.053	29.625	15	55.65	0.09
11:43	0.1063	44.624	0.053	29.17	15	55.65	0.09
11:45	0.1094	45.474	0.05	29.275	16	52.5	0.08
11:47	0.1068	44.76	0.051	28.61	16	53.55	0.08
11:49	0.1069	44.794	0.048	30.595	14	50.4	0.09
11:51	0.1077	44.998	0.051	30.63	14	53.55	0.10
11:53	0.10598	44.522	0.053	30.945	14	55.65	0.10
11:55	0.1042	44.046	0.048	31.435	13	50.4	0.10
11:57	0.1112	45.95	0.053	30.945	15	55.65	0.09
11:59	0.1087	45.27	0.051	30.63	15	53.55	0.09
12:01	0.1092	45.406	0.05	30.77	15	52.5	0.09
12:03	0.1161	47.276	0.054	31.225	16	56.7	0.09
12:05	0.1104	45.746	0.054	32.135	14	56.7	0.11
12:07	0.1111	45.916	0.056	31.365	15	58.8	0.10
12:09	0.1151	47.004	0.058	31.645	15	60.9	0.10
12:11	0.1157	47.174	0.056	31.715	15	58.8	0.10
12:13	0.1162	47.31	0.054	31.82	15	56.7	0.09
12:15	0.1125	46.29	0.058	32.52	14	60.9	0.11
12:17	0.1195	48.194	0.053	31.785	16	55.65	0.09
12:19	0.1235	49.282	0.057	30.805	18	59.85	0.08
12:21	0.1145	46.834	0.056	31.505	15	58.8	0.10
12:23	0.1195	48.194	0.057	31.47	17	59.85	0.09
12:25	0.1227	49.078	0.054	32.66	16	56.7	0.09
12:27	0.1219	48.84	0.053	31.995	17	55.65	0.08
12:29	0.125	49.69	0.056	33.955	16	58.8	0.10
12:31	0.1285	50.646	0.091	32.765	18	95.55	0.14
12:33	0.1171	47.548	0.06	32.695	15	63	0.11
12:35	0.1269	50.204	0.061	32.485	18	64.05	0.09
12:37	0.1311	51.36	0.058	33.395	18	60.9	0.09
12:39	0.119	48.058	0.06	32.73	15	63	0.10
12:41	0.1244	49.52	0.061	33.605	16	64.05	0.10
12:43	0.1359	52.652	0.063	33.29	19	66.15	0.09
12:45	0.1303	51.122	0.064	33.36	18	67.2	0.10
* Se consideraron más intervalos de tiempo para los resultados obtenidos en esta prueba.							
resultados obtenidos durante 24 horas .				especificaciones sobre prueba.			
conductividad térmica (W/m°C):				Se realizó la prueba durante 24 horas sin alteración alguna. El equipo efectuaba registro cada minuto hasta cumplir el tiempo determinado. En la gráficas mostradas se consideró las temperaturas más elevadas por lo tanto se utilizaron los datos obtenidos durante las 11 a 15 horas.			
Promedio	0.11						
Desviación estándar	0.02						
Máxima	0.19						
Mínimo	0.08						

4.3 Interpretación de resultados

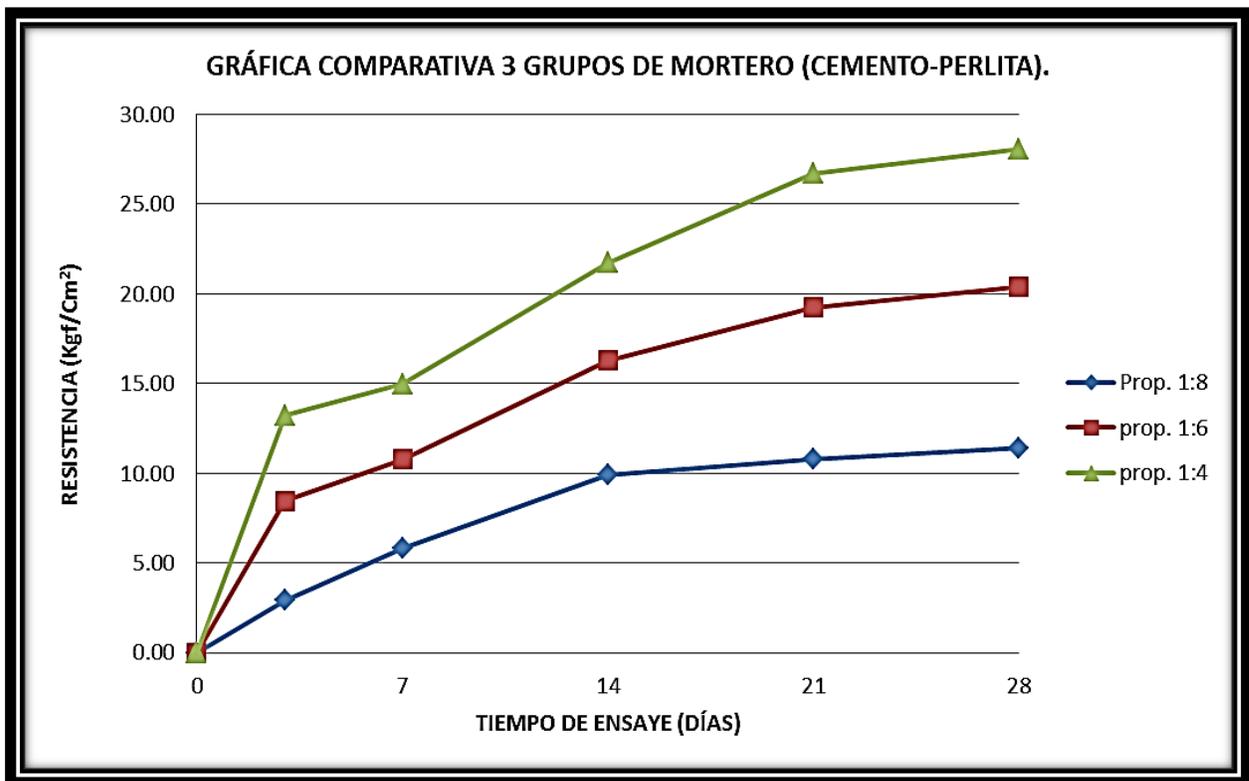
4.3.1 Resultados de resistencia de mortero de perlita.

Para tener información más completa se realizó una comparación con los morteros estudiados para la obtención de resistencia, mostrando un resultado 54.39% menor la mezcla constituida por mortero de albañilería con perlita que la fabricada con cemento portland y perlita, ambas con proporciones de 1:6, en su último valor registrado (**Véase Gráfica 5**)



Gráfica 5 Curvas comparativas de morteros proporción 1:6 (cemento-perlita, mortero albañilería-perlita).

Se elaboró una gráfica del comportamiento a 28 días de fraguado, mostrando únicamente la mezcla de cemento-perlita con sus diferentes proporciones, en donde podemos observar que mayor cemento portland o menor cantidad de perlita, logran incrementar la resistencia. (**Véase Gráfica 6**)



Gráfica 6 Curvas comparativas de proporciones de mortero cemento-perlita.

4.3.2 Resultados de conductividad térmica.

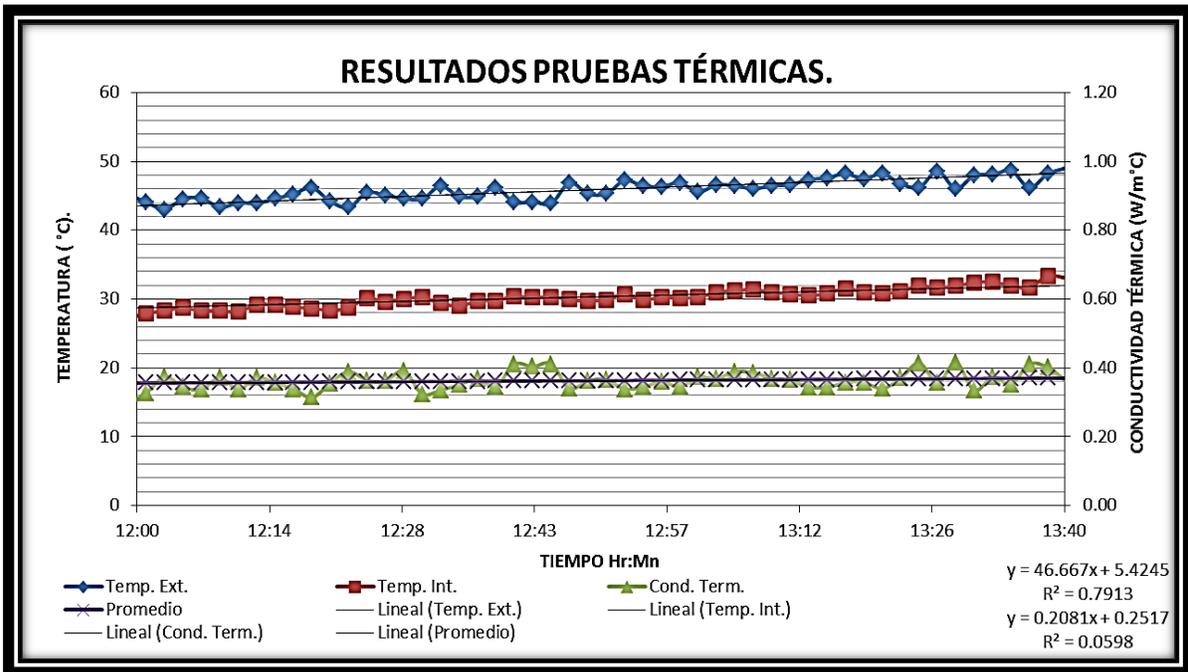
De los estudios realizados a las 2 placas de mortero, Cemento-Perlita, se puede facilitar su interpretación expresando sus resultados en gráficas, para la placa con relación 1:4 (**Véase Gráfica 7**) como también para la placa con proporción de 1:6 (**Véase Gráfica 8**), en ambas se muestran los valores de temperatura exterior e interior en un periodo de tiempo, así como su comportamiento en cuanto a su conductividad térmica (valor calculado).

Con los resultados obtenidos, que son únicamente útiles para esta proporción de material, se pudo determinar, por medio de temperatura, la conductividad térmica o viceversa, para la placa con proporción 1:4 (**véase Gráfica 9**) y proporción 1:6 (**véase Gráfica 10**) con su línea de tendencia acorde a sus valores.

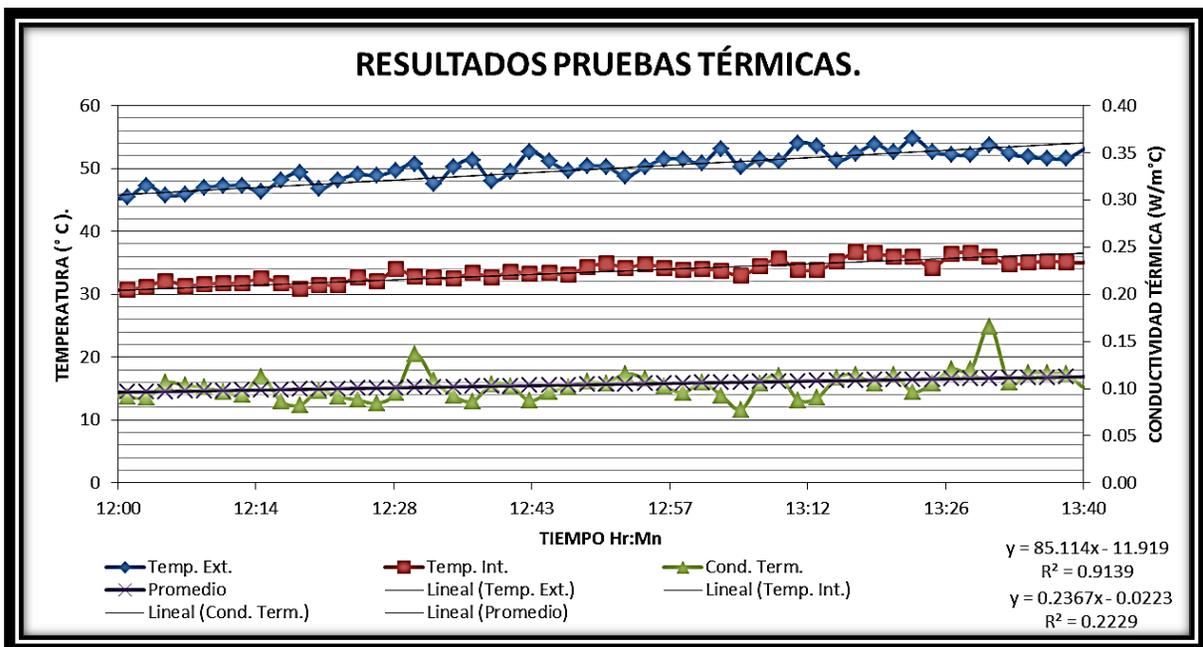
Ya que se cuenta con una cinta de frecuencia con los valores de conductividad térmica, es necesario realizar una distribución normal para englobar los resultados a

CAPÍTULO IV RESULTADOS

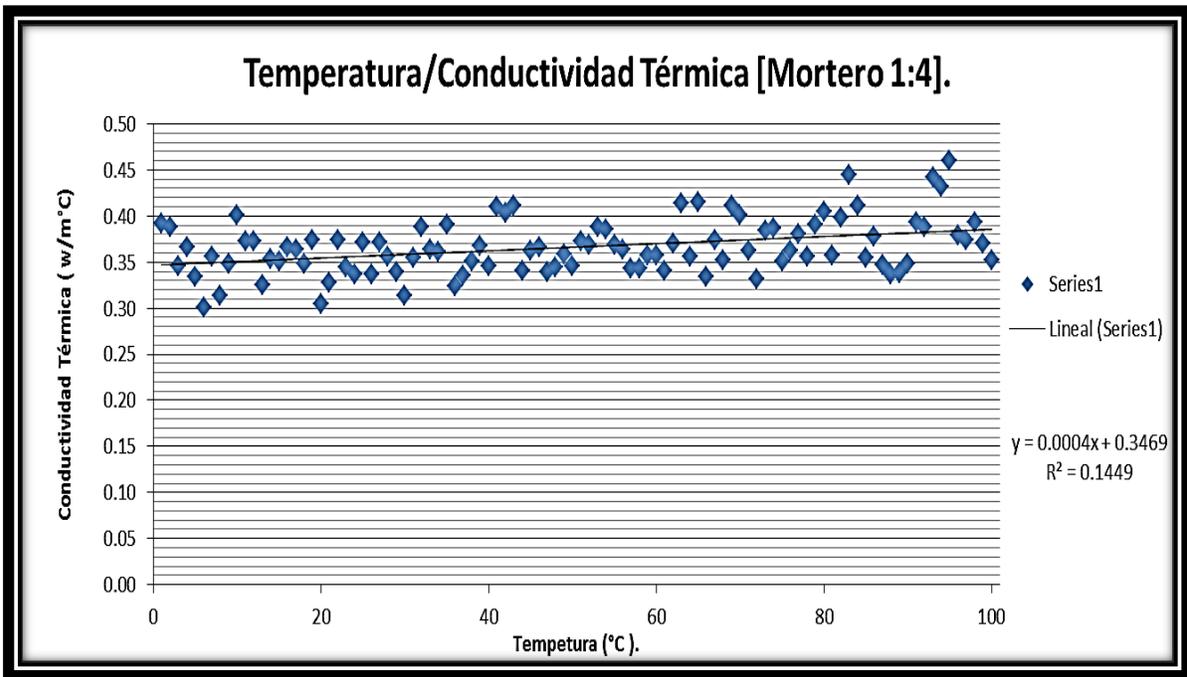
un promedio (valor ya mostrado en tablas 3 y 4) conformando una sola curva (véase **Gráfica 11, Gráfica 12**).



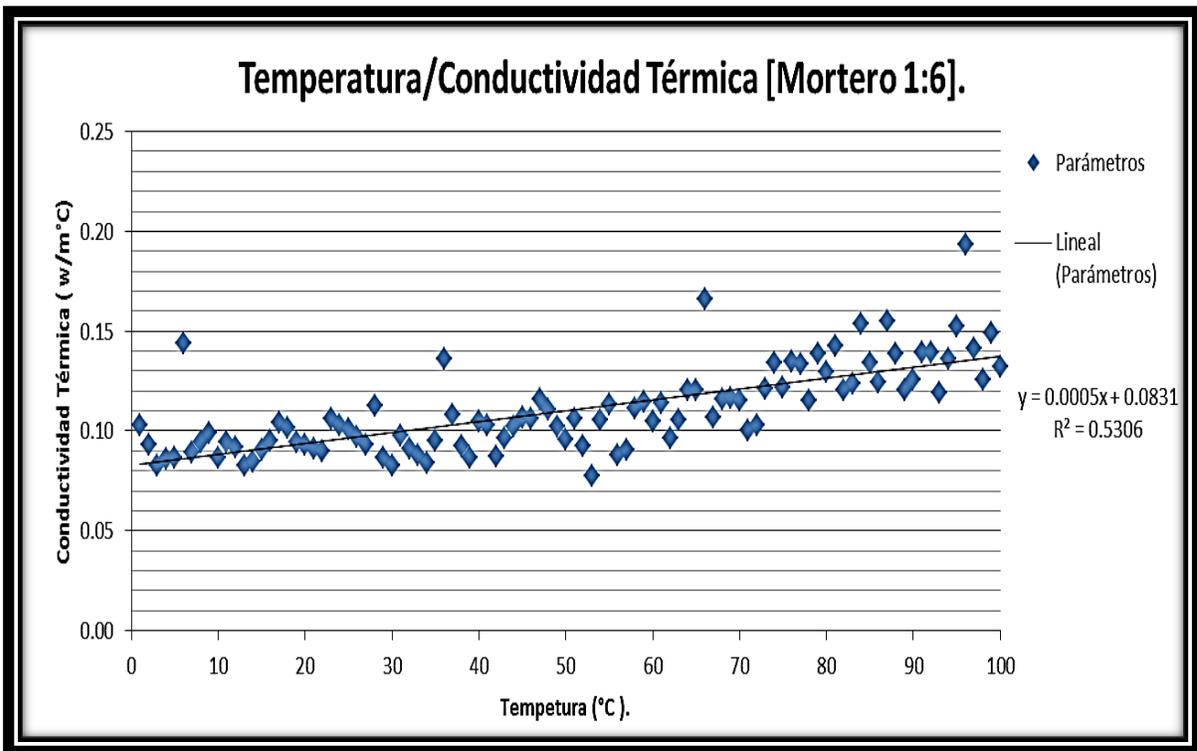
Gráfica 7 Resultados de prueba térmica mortero de perlita 1:4.



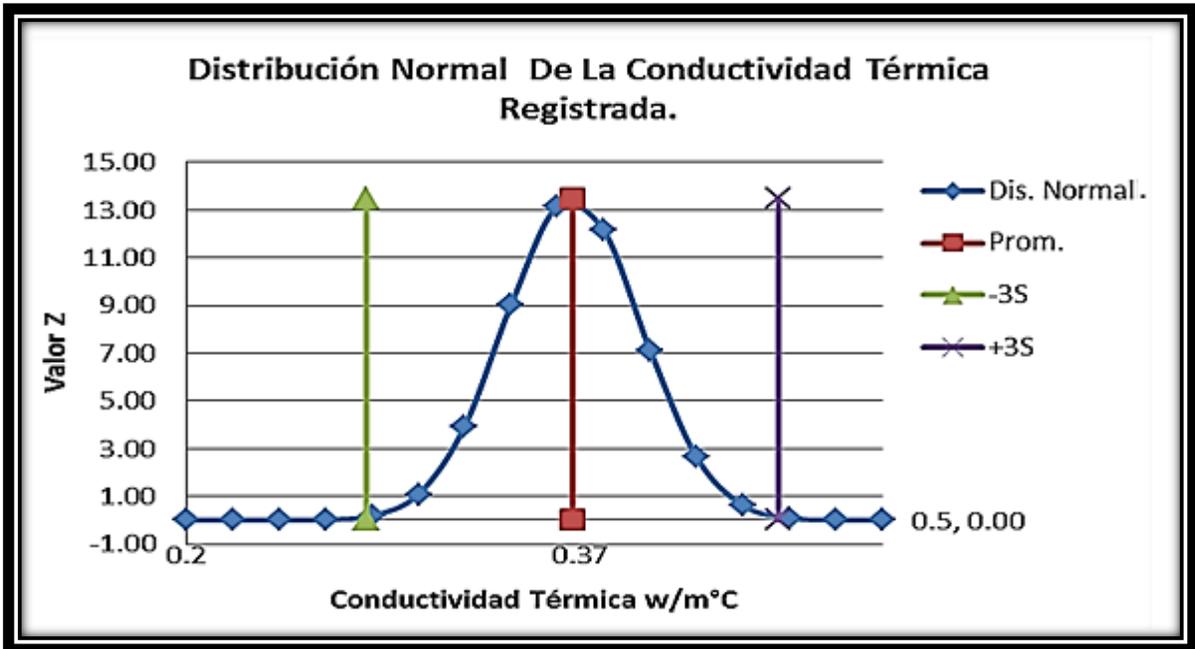
Gráfica 8 Resultados de prueba térmica mortero de perlita 1:6.



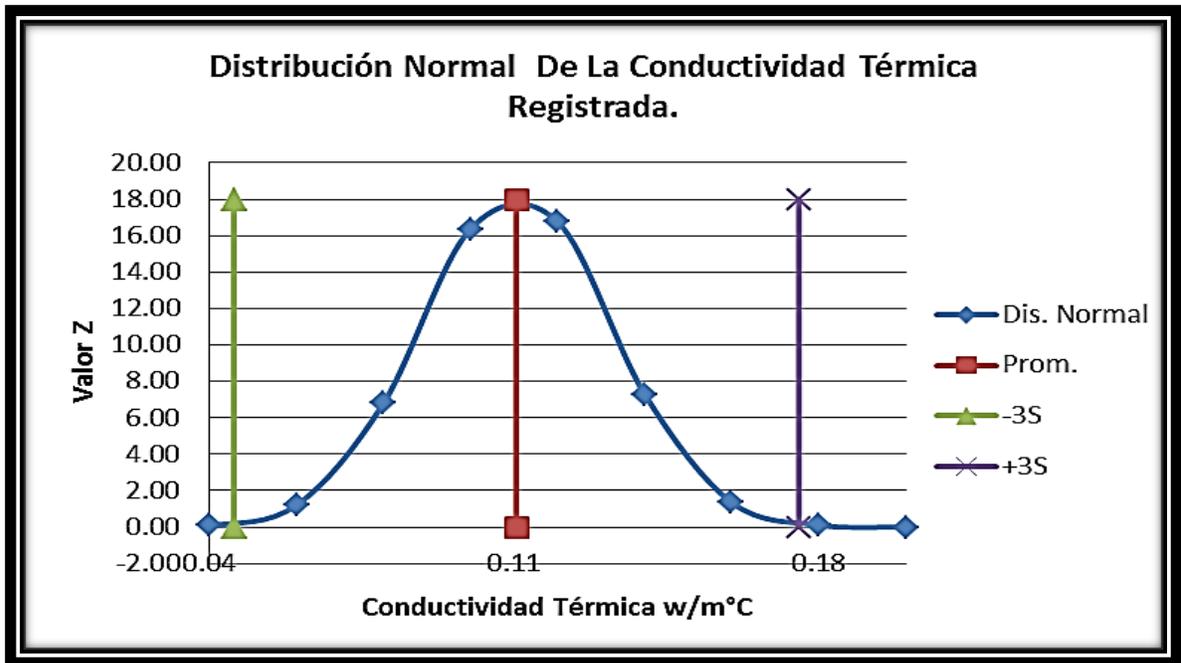
Gráfica 9 Parámetros mortero de perlita 1:4 Temperatura/Conductividad Térmica.



Gráfica 10 Parámetros mortero de perlita 1:6 Temperatura/Conductividad Térmica.



Gráfica 11 Distribución normal de conductividad térmica mortero perlita 1:4.



Gráfica 12 Distribución normal de conductividad térmica mortero perlita 1:6.

4.4 Valoración de resultados

En esta sección se ha recopilado los datos obtenidos de los estudios de la determinación de resistencia y de conductividad térmica, de las proporciones de mortero de perlita ya mencionadas en esta investigación, con referencia a la información de resistencia, se consideran los valores máximos a sus 28 días de prueba, de las tres primeras proporciones utilizando el aglomerante cemento, y una cuarta con producto comercial mortero para albañilería para su comparación (**véase Tabla 5**).

Los valores comparados se expresan en Kgf/cm².

En cuanto a los resultados obtenidos de conductividad térmica se realizó una comparativa con diversos materiales de construcción, teniendo características térmicas o no, se aplican a discusión los únicos especímenes que se estudiaron con proporciones 1:4 y de 1:6 con sus componente de cemento+perlita (**véase Tabla 6**).

Los valores comparados se expresan en Watt/m*°C.

4.4.1 Resistencia de materiales

Tabla 5 Comparación morteros resistencia máxima alcanzada a 28 días.

Proporciones/Material	Resistencia Kgf/cm ²
Mortero [Cemento + Perlita] Prop. 1:8	11.41
Mortero [Cemento + Perlita] Prop. 1:6	20.38
Mortero [Cemento + Perlita] Prop. 1:4	28.06
Mortero [Cem. albañilería + Perlita] Prop 1:6	13.20

4.4.2 Conductividad térmica de materiales

Tabla 6 Comparación de resultado de conductividad térmica

Material	Conductividad Térmica	Densidad
	W/m*°C	kg/m ³
Arena seca	6.105-10.73	1400
Cemento (duro)	19.36	---
Espuma de poliuretano	0.53	40
Ladrillo común	14.8	1800
Mortero de cal y cemento	12.95	1900
Mortero de cemento	15	2100
Mortero de vermiculita	2.59-4.81	300-650
Mortero de yeso	14.06	1000
Mortero para revoques	21.46	1800-2000
Placas de yeso	5.4-10.73	600-1200
Tejas cerámicas	14.06	1650
Vermiculita expandida	1.3	100
Vermiculita suelta	1.48	150
Yeso	15	1800
Mortero (cemento-perlita) 1:4	0.37	774
Mortero (cemento-perlita) 1:6	0.11	887

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con relación a la metodología anteriormente vista, junto a los resultados obtenidos a las pruebas realizadas a los morteros (cemento-perlita), como la comparación de mortero de albañilería (sólo en resistencia). Se pueden emitir las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos en las pruebas, para la determinación de resistencia para mortero de perlita, arrojaron el resultado más alto de 28.06 Kgf/cm² correspondiente a la proporción 1:4, siendo éste el de menor cantidad de perlita, los resultados de las 4 series que aquí se muestran en el rango de 11 a 28 Kgf/cm², se realizó una comparación de resultados de la serie 2 y serie 4, las cuales presenta la misma proporción refiriéndonos a 1:6, mostrando un 54 % de diferencia en el último registro obtenido, dando la desventaja al aglomerante denominado mortero de albañilería, siendo un producto constituido de cemento pero con diversos

compuestos para su fácil manejo y funcionalidad, los estudios indican que si deseamos un resultado a corto plazo con resultados seguros en su funcionalidad y la prioridad es la eficiencia en costos y cantidad se recomienda la proporción 1:6 constituida de cemento-perlita, respaldado por los resultados aquí expuestos ya que si se aumenta la cantidad de perlita con referencia a la proporción 1:8 se cuenta con una masa frágil, con porosidad presente favoreciendo la permeabilidad, y con la poca presencia de eficiencia en las propiedades del cemento.

Por otro lado si se reduce la cantidad de perlita (dando referencia a proporción 1:4) se cuenta con una masa bien constituida, con una velocidad de fraguado optima pero reduce el volumen de la masa, aumenta el costo del material y se incrementa su carga muerta.

- Como una importante característica presente en el material que constituye este mortero se realizaron pruebas para la determinación de su grado de conductividad térmica enfocada únicamente en las series que presentaron un mejor resultado en resistencia, las series contaban con las proporciones 1:4 y 1:6, siendo conformadas de cemento-perlita, los especímenes situados en condiciones idénticas proporcionaron resultados que radican de 0.11 a 0.37 W/m°C siendo el valor más bajo para el mortero con proporción 1:6.
- Con los resultados de resistencia y conductividad térmica se llegó a la conclusión como la mejor opción de las mezclas mencionadas aquí, el mortero conformado de cemento portland y perlita expandida molida con proporción de 1:6 respaldado por sus características mencionadas en esta investigación.
- En conclusión general podemos demostrar que el mortero de cemento-perlita es un producto alternativo y necesario para las altas temperaturas que se presentan en regiones del noroeste y norte del país, siendo un factor importante para el consumidor. Brindando un hábitat más confortable, como también la reducción en costos constructivos y materiales. Un propósito de la investigación es fomentar la alternativa y la mejora para las estructuras en la región, siendo material obtenido en esta, el costo no sería elevado, de hecho se puede considerar como una inversión a

futuro ya que reduciría costos de mantenimiento (refiriéndonos a los métodos tradicionales para la aislación térmica) ya que se puede reforzar el bloqueo de conducción térmica a diversas estructura y su aligeración.

5.2 Recomendaciones

En el transcurso de elaboración de este proyecto se encontraron inconvenientes lo cual requirió de su solución, para futuros estudios es necesaria su declaración, se expresa a continuación:

- En la elaboración de la mezcla, para la elaboración de los cilindros de mortero para pruebas a compresión, se contaba con cantidades calculadas de materiales donde el agua era uno de ellos y la perlita por sus ventaja de aumento de volumen, pero el agua no era suficiente para alcanzar su máximo volumen al saturarse y éste presentaba dicho incremento del volumen requerido (vol. calculado) no era suficiente y no era la cantidad óptima, ni con la considerando del desperdicio, ya que ésta se compacto y las partículas no retenían agua suficiente para expandirse, por ende es necesario saturar la perlita en un tiempo mínimo de una hora antes de su utilización, ya que, de hecho, es la forma más sencilla de su mezclado.
- Se recomienda colocar un plástico o tabla como base para el molde de las placas para obtener un acabado uniforme de ambos extremos, por la clase de sensor utilizado es necesaria su colocación firme para reducir la presencia de datos erróneos por movimiento físicos, la consola debe estar bien protegida como prevención a cambios climáticos que comprometan el funcionamiento del equipo.

Información bibliográfica:

- SAAD, Antonio Miguel (1979) Tratado de construcción: propiedades de los materiales aglomerantes, fabricación, aplicación y usos, tomo I, México, Editorial: C.E.C.S.A.
- Dietz,Albert G.H.,Merritt,Frederick S.(1991) Enciclopedia de Construcción, arquitectura e ingeniería:4 materiales de construcción, México , Editorial: OCEANO.
- Solminihac T. //Guillermmo Thenoux Z 2008.Procesos y técnicas de construcción. 5ª edición, Chile, Editorial: universidad católica.
- JOHNSON. Materials of construction. A.S.T.M. Specifications. Pasman. Materiales de construcción. BUREAU OF RECLAMATION. Manual de hormigón Autor: Luz David. La práctica del hormigón Armado.
- López, Francisco// Alba, Jorge (1973) Principales Materiales Fabricados y su - Empleo en la Construcción. Facultad de ingeniería, México, Editorial UNAM.
- TEXSA,S.A www.texsa.com/es/productos_general.asp?id=perlita [En Línea] [citado 22 de agosto de 2012].
- Isover, NORMA BASICA DE EDIFICACIÓN NBE-CT-79 SOBRE CONDICIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS [En Línea] [citado 10 de septiembre de 2012].
- Omega, <http://www.omega.com/pptst/OM-DAQPRO-5300.html> [En Línea] [Citado 30 de septiembre de 2012].