



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Calidad

"Mejora en la calidad de vivienda económica mediante el uso de polímeros y compuestos inorgánicos tradicionales para mejorar su aislamiento térmico"

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería de Calidad

Presenta:

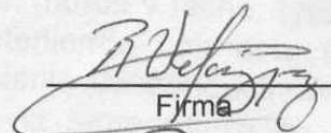
Omar Israel Miranda Nieto

Dirigido por:

Dr. Rodrigo Rafael Velázquez Castillo

SINODALES

Dr. Rodrigo Rafael Velázquez Castillo
Presidente



Firma

Dr. Rufino Nava Mendoza
Secretario



Firma

Dr. Eric Rivera Muñoz
Vocal



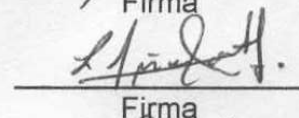
Firma

M. en C. Sergio Castañeda Gutiérrez
Suplente

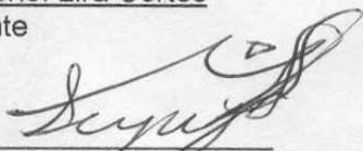


Firma

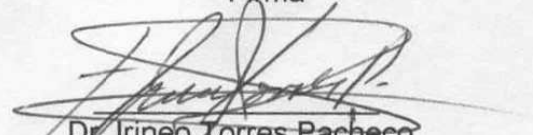
Dr. Leonel Lira Cortés
Suplente



Firma



Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad



Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
30 de Octubre 2012
México

RESUMEN

En cualquier país, y el nuestro no es la excepción, el tema de la vivienda de calidad tiene una importancia relevante, dado que está directamente ligado con el nivel de vida de la familia, que ve en una casa la posibilidad de mejorar su desarrollo y bienestar; lo que la beneficia, no sólo socialmente, sino también económicamente. Las políticas de vivienda en nuestro país se han concentrado en resolver con prontitud la demanda de esta, como una consecuencia por el gran crecimiento poblacional. Ahora, el reto es construir vivienda de mejor calidad. En este estudio se aborda el tema de la calidad de esta desde el enfoque de confort térmico que experimentan sus habitantes, y además el ahorro en el consumo de energía eléctrica, ambos ligados directamente con el desempeño de los materiales empleados en su construcción específicamente en el acabado de muros y techo. Se propone una alternativa práctica, mediante el uso de polímeros lo cual modifica las propiedades térmicas de los materiales empleados típicamente en la envolvente, yeso y/o cal, que conjugado con el uso de otros materiales en el sistema de construcción de muros (tabique, cemento, etc.), representa una opción de mejora en la calidad de la vivienda. La propuesta es emplear un compuesto de alguno de los materiales inorgánicos típicamente usados en la construcción para acabados de la envolvente, muros y techo, (yeso y/o cal) mezclados con micro esferas de polímero; obteniendo con esto un compuesto final que presente una reducción en el coeficiente de conductividad térmica, y como consecuencia un mejor aislamiento de la temperatura en la vivienda.

Palabras clave: (vivienda, calidad, confort térmico)

SUMMARY

In any country, and ours is no exception, the issue of housing quality is highly relevant, since it is directly linked to the standard of living, seen in a house the opportunity to improve their development and welfare, which benefits the individual, not only socially, but also economically. Housing policies in our country have focused on solving promptly the demand as a result of the high population growth. The challenge now is to build better quality housing. This study addresses the issue of quality approaching the thermal comfort experienced by their inhabitants as well as further savings in power consumption, both linked directly to the performance of the materials used in its construction, specifically in the finishing of walls and ceiling. It proposes a practical alternative, using polymers, which modify the thermal properties of the materials typically employed in the casing, gypsum and / or lime, which conjugated with the use of other materials in the wall construction system (brick, cement, etc.) represent an upgrade option in the quality of the housing. The proposal is to employ a compound of any of the inorganic materials typically used in construction mixed with the polymer microspheres, obtaining a compound which represents a reduction in the coefficient of thermal conductivity, and consequently better housing temperature insulation.

Keywords: (housing, quality, thermal comfort)

DEDICATORIAS

A mis padres

Por todo el amor, apoyo y cuidados que siempre me han dado, inculcándome los valores que me han permitido lograr este trabajo. Este éxito es gracias a ustedes.

A mis hermanos

Por sus consejos y el apoyo que me han dado durante toda mi vida, por estar al pendiente de mi en todo momento.

A ti, Monse

Por todo el amor y la alegría que me has dado desde que entraste a mi vida, eres una parte muy importante de este trabajo, sin tu apoyo no lo hubiera logrado, Te amo

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Rodrigo Velázquez Castillo por todo el apoyo y su valiosa aportación a este trabajo.

Al Centro Nacional de Metrología, particularmente al Dr. Leonel Lira Cortes por su apoyo en las pruebas de Conductividad Térmica.

Al Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, especialmente al Dr, Eric Rivera por su apoyo en las pruebas de microscopia electrónica y a M. en Q. Carmen Peza Ledesma por su apoyo técnico en pruebas mecánicas.

A todos los sinodales por su importante colaboración en la revisión de esta tesis.

A la Universidad Autónoma de Querétaro especialmente a la Facultad de Ingeniería.

INDICE

<i>RESUMEN</i>	<i>i</i>
<i>SUMMARY</i>	<i>ii</i>
<i>DEDICATORIAS</i>	<i>iii</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>iv</i>
<i>I N D I C E</i>	<i>v</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>ix</i>
<i>INTRODUCCION</i>	<i>1</i>
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos particulares	3
2.1 Calidad en la vivienda	7
2.2 Modelos y Reglamentos relacionados con la calidad en la Vivienda.	10
2.3 Confort Térmico	13
2.4 Conductividad Térmica de los materiales.	15
2.5 Materiales Inorgánicos típicos empleados en muros de vivienda económica	19
2.5.1 El yeso: métodos de obtención y aplicaciones	19
2.5.2 La cal: métodos de obtención y aplicaciones.	21
2.6 Polímeros, métodos de obtención y clasificación.	23
2.6.1 Métodos de obtención	24
2.6.2 Clasificación y características de los polímeros	26
<i>III. METODOLOGIA.</i>	<i>38</i>
3.1 Materiales.	38
3.2 Métodos y equipos.	38
3.2.1 Conductividad Térmica	40
3.2.2 Prueba de Flexión	44
3.2.3 Microscopia electrónica de barrido (MEB)	46
4.1 Conductividad térmica	49
4.2 Pruebas de flexión.	52
4.3 Caracterización en MEB.	55
4.4 Calculo de la resistencia térmica de muros y techo.	61
4.5 Calculo del calor en el sistema y consumo energético de la vivienda.	66
<i>V. CONCLUSIONES.</i>	<i>73</i>
<i>LITERATURA CITADA</i>	<i>75</i>
<i>ANEXOS</i>	

<i>A-</i>	<i>Plano de la vivienda tipo UF-58 vista superior</i>	<i>78</i>
<i>B-</i>	<i>Plano de la vivienda tipo UF-58 vista frontal</i>	<i>79</i>
<i>C-</i>	<i>Plano de la vivienda tipo UF-58 vista lateral</i>	<i>80</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Conductividad térmica típica de diferentes materiales.	18
2. Formulaciones evaluadas (en % volumen)	39
3. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de las formulaciones de cal y yeso puros y con 40 % de polímero respectivamente.	49
4. Resultados de esfuerzo de flexión máximo de las muestras de cal y yeso puros, y con diferentes contenidos de polímero respectivamente.	52
5. Datos de conductividad térmica los componentes típicos de muros y techo (NOM-008-ENER-2011).	63
6. Datos de conductividad térmica los componentes típicos de muros y techo. Formulaciones con refuerzo de polímero (NOM-008-ENER-1999).	64
7. Resistencia térmica de muros y techo con las 2 formulaciones de cal y yeso (con polímero y sin polímero)	65
8. Datos para el cálculo del calor transferido en la envolvente, muros y techo.	67
9. Calor transferido en la envolvente con polímero y sin polímero y % de ahorro.	68
10. Consumo energético de la envolvente con polímero y sin polímero y su costo mensual	69
11. Datos para el cálculo del costo de las formulaciones con y sin polímero.	70

INDICE DE GRAFICAS

Grafica	Página
1. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de muestras de cal y cal + 40% de polímero.	50
2. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de muestras de yeso y yeso + 40% de polímero.	51
3. Esfuerzo de flexión a muestras de cal y cal + 40% de polímero.	53
4. Esfuerzo de flexión de muestras de yeso y yeso + 30% y 40 % de polímero respectivamente.	53
5. Variación en los valores de esfuerzo en las 3 formulaciones de yeso.	54
6. Variación en los valores de esfuerzo en las 2 formulaciones de cal.	55
7. Resistencia térmica del muro en las dos configuraciones, con polímero y sin polímero, con aplanado de cal en el exterior y de yeso en el interior.	65
8. Resistencia térmica del techo en las dos configuraciones, con polímero y sin polímero, con aplanado de yeso en el interior.	66
9. Costo (\$/mes) de energía necesaria para la envolvente sin polímero y con polímero.	69
10. Ahorro anual acumulado en consumo de energía para formulación con polímero en la envolvente.	72

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1.	Cadena de valor de la vivienda (Código de edificación de Vivienda, 2007).	5
2.	Porcentaje de la población en viviendas con carencia por material de techos 1990 – 2010, (CONEVAL, 2010).	8
3.	Porcentaje de la población en viviendas con carencia por material de muros 1990 – 2010, (CONEVAL, 2010).	9
4.	Aspectos considerados en el ICAVI (INFONAVIT, 2007).	11
5.	Ecuación de transferencia de calor.	16
6.	Proceso productivo del Yeso	20
7.	Ciclo de obtención de la cal (Grupo Calidra).	22
8.	Micrografía electrónica de Barrido de esferas de PMMA obtenidas a partir de una polimerización por dispersión en CO ₂ usando PFAO como estabilizador (Kendall & Canelas, 1999).	26
9.	Grafica Calor vs Temperatura (Brindis, 2002).	30
10.	Diagrama de una maquina de tensión universal cabeza móvil (Askeland, 1998).	32
11.	Unidades para expresar el esfuerzo (Van Vlack, 1967).	32
12.	Ecuación de esfuerzo	33
13.	Ecuación de deformación	33
14.	Modulo elástico.	34
15.	(a) Apariencia del espécimen de tensión en etapas diferentes de la prueba de tensión; (b) Curva típica de esfuerzo – deformación.	35
16.	Ecuación Resistencia ultima tensión (RUT)	36
17.	Aparato de placa caliente con guarda (Lira, 2008).	40
18.	Diagrama del aparato de placa caliente con guarda (Lira, 2006).	40
19.	Mezclado y vaciado de las muestras.	42
20.	Secado y acabado de las muestras.	42
21.	Máquina Universal Zwick/Roell modelo Z005.	44
22.	Montaje y configuración de la prueba de flexión.	45
23.	Diagrama de acomodo y efecto de la carga en las pruebas de flexión.	45

24. Evaporadora de Metal Sputter Coater EMS 550.	47
25. Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6060LV	48
26. Diagrama esquemático que muestra los componentes fundamentales del microscopio electrónico de barrido.	48
27. Muestra de Cal pura en donde se observa la morfología y tamaño de los cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaCO_3	56
28. Muestra de Cal+ 40% polímero a una resolución de 900X	56
29. Microfotografía en donde se muestra la separación de algunas esferas poliméricas de la matriz de cal, dejando huecos en su lugar. Muestra de cal + 40% polímero.	57
30. Muestra de Yeso puro en donde se observa su morfología y dimensiones cristalinas.	58
31. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 2000X	59
32. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 500X	59
33. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 5000X	60
34. Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica (Código de edificación de vivienda, 2007)	61
35. Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica de la envolvente de varios componentes. (CEV, 2007)	62
36. Ecuación para el cálculo del calor de la envolvente, muros y techo de la vivienda.	67

INTRODUCCION

En cualquier país, y el nuestro no es la excepción, el tema de la vivienda de calidad tiene una importancia relevante, dado que está directamente ligado con el nivel de vida de la familia, que ve en una vivienda la posibilidad de mejorar su desarrollo y bienestar, lo que la beneficia, no sólo socialmente, sino también económicamente.

El lugar en donde habitan las personas es muy importante para su calidad de vida, los materiales con los que está construida afectan la salud tanto física y mental de sus habitantes. Si en una vivienda no se cumple con las características mínimas de calidad en algunos de estos elementos, se considera que sus habitantes enfrentan una carencia por calidad y espacios de la vivienda.

La calidad de la vivienda es principalmente afectada por dos factores: uno el diseño y el segundo los materiales empleados en su construcción. El diseño considera todo lo referente a la distribución de los espacios (recamaras, baño, cocina, etc), el segundo los materiales empleados en la construcción de la vivienda (piso, pared y techo). En conjunto las características de estos elementos, el material y la forma en que están contruidos, las proporciones y el tamaño determinarán la calidad constructiva de la vivienda; siendo este uno de los aspectos fundamentales para evaluar la calidad de la vivienda en su totalidad.

Si en una vivienda no se cumple con las características mínimas de calidad en algunos de estos elementos, se considera que sus habitantes enfrentan una carencia por calidad y espacios de la vivienda.

En este estudio se aborda el tema de la calidad de la vivienda desde el enfoque de confort térmico que experimentan sus habitantes, y además el ahorro en el consumo de energía eléctrica, ambos ligados directamente con el desempeño de los materiales empleados en su construcción, específicamente en el acabado de muros. Se propone una alternativa práctica, que conjugado con el

uso de otros materiales en el sistema de construcción de muros (tabique, cemento, etc.), representa una opción de mejora en la calidad de la vivienda.

La propuesta es emplear un compuesto de alguno de los materiales inorgánicos típicamente usados en la construcción para acabados de muros (yeso y/o cal) mezclados con micro esferas de polímero; obteniendo con esto un compuesto final que presente una reducción en el coeficiente de conductividad térmica, y como consecuencia un mejor aislamiento de la temperatura en la vivienda.

El nivel de bienestar de nuestros hogares depende de una variedad de factores entre ellos está la temperatura ambiental (además de los materiales con los que está construida y el diseño interior mencionados anteriormente). La temperatura es, sin embargo, uno de los más importantes y de los que mayor comodidad nos va a generar. Al mismo tiempo también es un factor que puede generar los mayores gastos en energía. Por ello, el tema de estudio del presente trabajo dispone de una serie de estrategias de acción combinadas con la configuración del muro que crean un excelente confort térmico al tiempo que optimizan el consumo de energía.

1.1 Objetivo General

Desarrollar materiales térmicos elaborados con yeso o cal y microesferas de polimetil metacrilato con aplicaciones en la industria de la construcción. Las propiedades de aislamiento térmico de estos materiales incrementarán el confort térmico en el interior de la vivienda, promoverán una disminución en el gasto de energía y con ello, se favorecerá una mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

1.2 Objetivos particulares

Evaluar la conductividad térmica del yeso y la cal, empleados en la industria de la construcción.

Preparar diferentes formulaciones de las mezclas yeso-polímero y cal-polímero y evaluar su conductividad térmica.

Determinar la mezcla de yeso/cal-polímero que reduzca al menos en un 15 % el coeficiente de conductividad térmica de la mezcla final.

II. REVISION DE LITERATURA

Las políticas de vivienda en nuestro país se han concentrado en resolver con prontitud la demanda de vivienda generada por el gran crecimiento poblacional. Ahora, el reto es construir vivienda de mejor calidad. Resolver las necesidades urgentes de vivienda fue una prioridad de las políticas públicas en los últimos años.

El auge que en los últimos años ha tenido la construcción de vivienda en México está planteando nuevas interrogantes a los desarrolladores y entidades gubernamentales acerca de la calidad de los espacios habitacionales. Desde fines de los años noventa, surgieron en todo el mundo conceptos como "habitabilidad", "calidad física", "calidad en el uso del espacio", etc., así como también se ha otorgado mayor importancia al diseño del paisaje.

De acuerdo al diagrama de cadena de valor del Código de edificación de vivienda (FIGURA 1), podemos ubicar los materiales en la etapa 4 referente a la construcción del proyecto de vivienda.

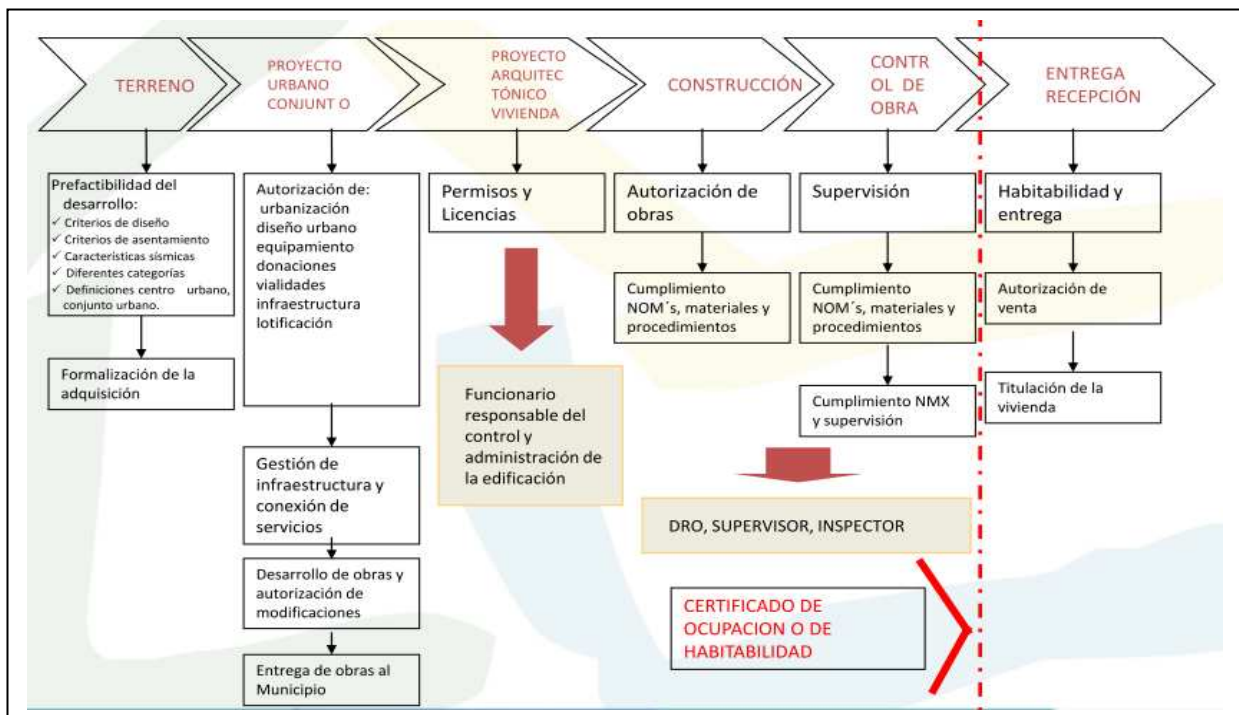


Figura 1. Cadena de valor de la vivienda (Código de edificación de Vivienda, 2007).

Esta etapa considera el cumplimiento a las normas, materiales y procedimientos empleados para la construcción de las diferentes zonas de la vivienda, en lo que respecta a este trabajo se consideran de importancia los materiales empleados en los acabados de muros.

Esta herramienta permite identificar desde la conceptualización del proceso actual considerando los materiales empleados actualmente, pasando por diferentes procesos de transformación y manufactura, hasta llegar a ser un producto terminado. La cadena de valor es un concepto complejo que considera todas las actividades requeridas por el cumplimiento de la meta de unir la empresa al cliente al que se suministra un valor funcional soportado por el bien (producto o servicio) ofrecido.

Las actuales políticas de vivienda de interés social buscan responder a dos demandas críticas: aportar soluciones habitacionales a los sectores de escasos recursos. A partir de la década de 1970 el gobierno mexicano invirtió en la construcción de vivienda de interés social, a través de la adquisición de reserva territorial y licitación de proyectos, y actuó como garante ante los derechohabientes para dirimir conflictos. En esa época la falta de un modelo para evaluar la calidad en la vivienda en México causó muchos conflictos.

En el 2006, la investigadora de la UAM Azcapotzalco, Gabriela Ponce Sernicharo, elaboró un diagnóstico para calificar la calidad de la vivienda en todo el país. Con base en datos del XXI Censo General de Población y Vivienda del INEGI 2000, y a partir de una muestra de 10 por ciento en el ámbito nacional, Ponce estableció tres dimensiones de análisis: la calidad física de las viviendas, el uso del espacio y el hacinamiento, y los servicios con que cuenta la vivienda.

Además de las implicaciones ecológicas que conlleva una mala planificación, el enfoque actual en México busca garantizar que los espacios habitacionales provean de confort a sus ocupantes. Sólo grandes competidores se arriesgan a ofrecer la misma calidad en sus nuevos desarrollos, ya sean comerciales o habitacionales, en cualquier zona del país, sin importar si el mercado es de ingresos altos, medios o bajos.

En la construcción de vivienda ha predominado el criterio de cantidad en detrimento de la calidad de la misma. En los climas cálidos secos y húmedos, se presentan graves problemas en el confort térmico de los usuarios. Dentro de la calidad física de la vivienda podemos ubicar el confort térmico. Existe un rango en el que el cuerpo humano se siente "cómodo", al estudio de los efectos del impacto climático en el cuerpo humano se le llama Confort Térmico.

El consumo de energía en edificaciones durante el año 2005 representó alrededor del 20% del consumo energético total del país, por lo cual una reducción de la ganancia térmica se verá reflejada en una disminución en el dispendio energético del sector residencial. Un mejor conocimiento de las diferentes variables que influyen en los procesos de transferencia de calor desde o hacia el interior de la edificación coadyuvará a llevar a cabo un mejor diseño térmico de la misma, más apegado a la realidad y, por lo tanto, más preciso.

De acuerdo a la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAVI 2006) un aparato de aire acondicionado por habitación, tiene un consumo promedio de mil 400 kWh al año. Dos formas de disminuir el consumo de esta energía para enfriar el ambiente son: aumentar el aislamiento de las casas y el uso de la energía solar pasiva mediante el diseño bioclimático y, el otro, es aumentar la eficiencia de los aparatos que se utilizan para ello. En el primer caso, existe la experiencia de un proyecto de CFE, que consistió en aislar el techo de un conjunto de casas en Mexicali, cuyo resultado fue un ahorro del 35% en el consumo de electricidad (Morales, 2005); en el segundo caso, se pueden lograr eficiencias de cerca del 20 por ciento.

2.1 Calidad en la vivienda

La vivienda cubre una gama variada de necesidades de los miembros de un hogar, destacándose entre ellas la protección o abrigo del medio natural y de factores ambientales adversos. El déficit en esta dimensión tiene consecuencias en la salud de los miembros, tanto física como psicológica. Las viviendas para alcanzar un estándar básico de habitabilidad, deben estar en consonancia con la necesidad de las personas de protegerse del medio ambiente y otros factores ambientales adversos.

El aseguramiento de la calidad en las viviendas es básico para lograr que las mismas cuenten con los atributos de calidad y durabilidad que conduzcan a conservar el patrimonio de los trabajadores, fortaleciendo el proceso de verificación, municipalización del conjunto y recepción de la vivienda. El infonavit cuenta con una iniciativa cuyo alcance es proponer una combinación de medidas preventivas y correctivas para establecer un sistema de aseguramiento de la calidad de las viviendas. El objetivo de esta es asegurar que la vivienda cuente con los atributos de calidad y durabilidad para conservar el patrimonio de los trabajadores.

Los logros programados a largo plazo son aumentar la calidad de todas las viviendas mediante la combinación de acciones preventivas y correctivas, y disminuir la cantidad de reclamaciones relativas a las viviendas por parte de los derechohabientes.

Cuando hablamos de la calidad de la vivienda debemos recordar que ésta está definida por componentes tangibles que son del orden físico y otros intangibles. En la vivienda que se produce formalmente existe una tendencia a resolver los componentes tangibles mínimos que permite el uso de una vivienda de la que se espera obtener el máximo de utilidades (Arango, 2003).

Los materiales con los que está construida afectan la salud tanto física y mental de sus habitantes. Es importante considerar el material de pisos, techos y muros, y también el grado de hacinamiento, es decir, cuántas personas hay por cada cuarto que tenga una vivienda.

De acuerdo al Consejo Nacional de la evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), el porcentaje de viviendas con carencia por materiales tanto en techo y en muros ha venido disminuyendo; tal y como lo describe en su reporte de Carencia en la Calidad y espacios de vivienda ver figura 2 y 3.

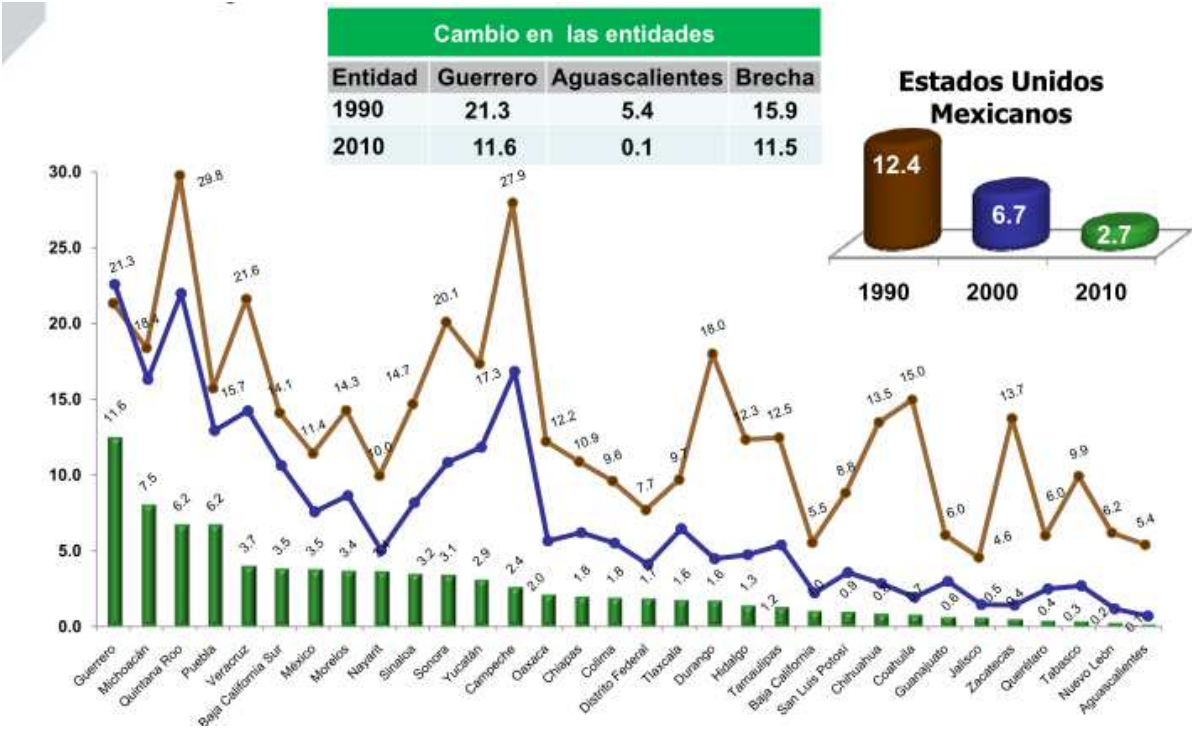


Figura 2. Porcentaje de la población en viviendas con carencia por material de techos 1990 – 2010, (CONEVAL, 2010).

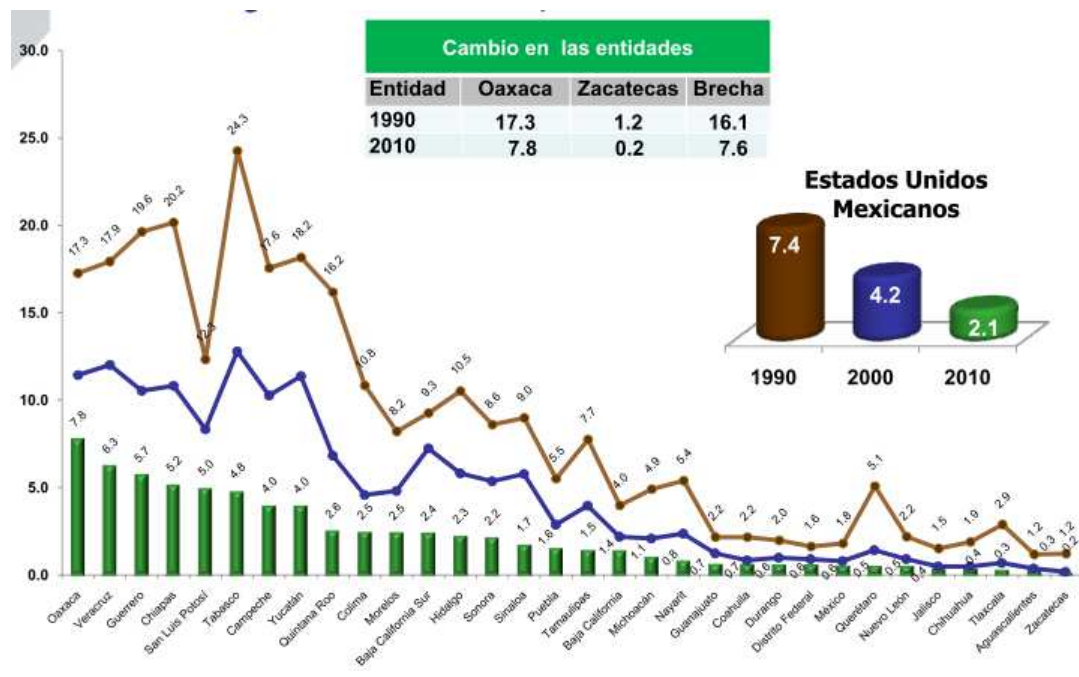


Figura 3. Porcentaje de la población en viviendas con carencia por material de muros 1990 – 2010, (CONEVAL, 2010).

El material que se desarrolló y caracterizó en esta investigación será utilizado como base para la elaboración de un recubrimiento que ayude a disminuir la ganancia térmica en muros de la vivienda, favoreciendo así el confort térmico de los habitantes de la misma y con ello, incrementando la calidad de la misma. El recubrimiento está formado por dos constituyentes: Un copolímero acrílicos elaborado con polimetilmetacrilato, que se caracterizan por ser un buen aislante térmico y acústico. Este copolímero se encuentra en forma de micro esferas que en su interior contienen aire. El segundo constituyente es el yeso o la cal, materiales tradicionales para la construcción. El aire es muy mal conductor del calor y esto permite que en suma el recubrimiento sea un muy buen aislante térmico que reduce considerablemente el flujo de energía por calor.

2.2 Modelos y Reglamentos relacionados con la calidad en la Vivienda.

El tema del derecho a la vivienda ha sido inicialmente desarrollado por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU que considera una amplia gama de aspectos relacionados con la vida y el sustento de los residentes de los Estados Partes, en concreto la alimentación, el vestido y la vivienda. Dicho Comité ha dedicado especial atención al derecho humano a una vivienda adecuada, en uno de los siete puntos indica que la vivienda debe tener la característica de habitabilidad, es decir, un espacio adecuado a sus ocupantes que los proteja del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otras amenazas a su salud (Olmos, Mario, & Gomez, 2003).

Existe un indicador para medir la calidad de la vivienda llamado ICAVI¹, donde se consideran varios factores tangibles de esta como: número de recámaras, área construida, área de terreno, calidad del proyecto y equipamiento urbano. El ICAVI surge en enero del 2007, como una herramienta de orientación sobre las características y atributos de calidad con que cuenta la vivienda, el conjunto habitacional donde ésta se ubica; así como, el entorno que les rodea.

Este índice se ha diseñado, considerando un proceso de mejora en el que de manera gradual se irán incorporando todos aquellos espacios, elementos, instalaciones, obras, servicios, infraestructura y equipamiento que brindan un valor agregado al usuario de la vivienda en su calidad de vida.

Este Indicador actualmente considera 23 características de calidad, divididas en tres grupos que son (conforme a los elementos que integran un desarrollo habitacional):

- La vivienda

¹ Índice de Calidad de la Vivienda, INFONAVIT 2007

- El conjunto habitacional
- El entorno urbano

A través de una encuesta practicada entre acreditados se identificaron aquellas características de calidad en la vivienda y su entorno que resultan de mayor importancia para su calidad de vida. En este contexto, como se puede observar en la figura 1, se generaron tres grupos de acuerdo al grado de importancia que tiene cada una respecto de las otras características que lo conforman.

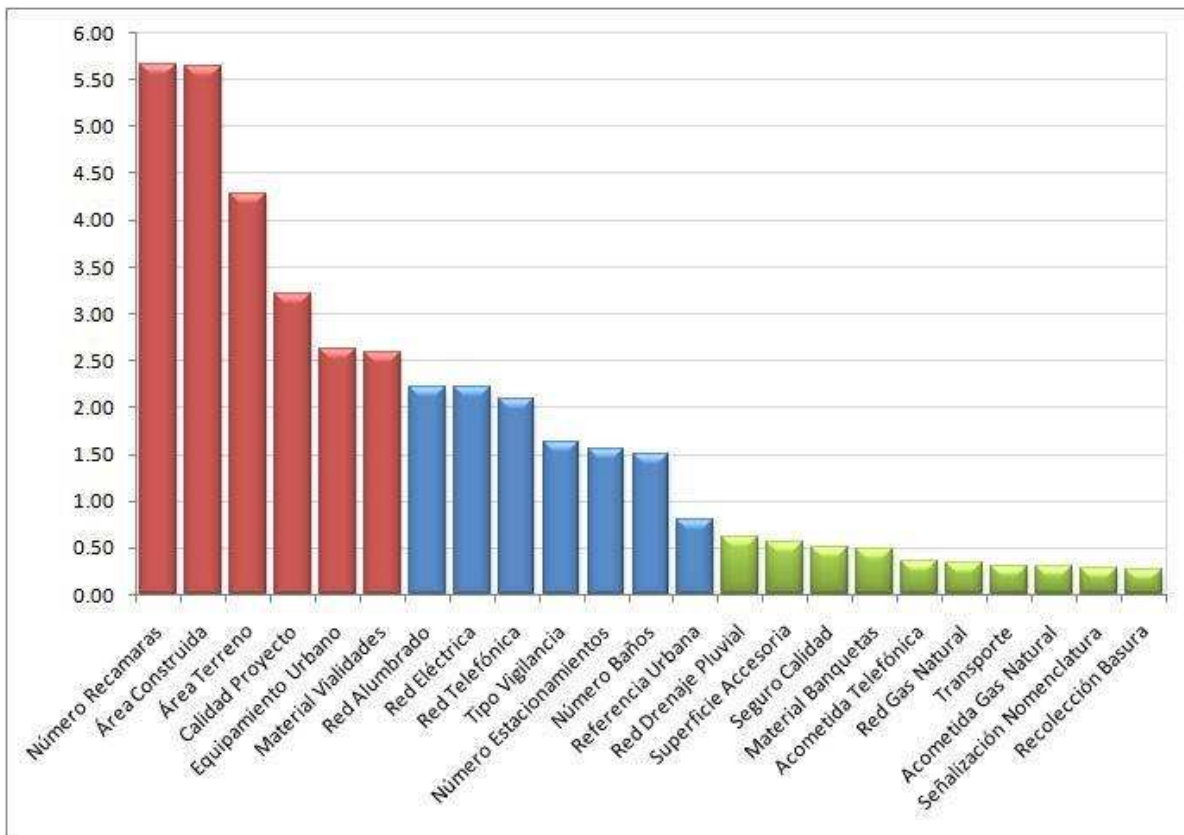


Figura 4. Aspectos considerados en el ICAVI (INFONAVIT, 2007).

Los aspectos considerados por el ICAVI en la parte de La vivienda son los siguientes de acuerdo a la figura 1.

- Número de recamaras

- Área construida
- Área Terreno
- Calidad del proyecto
- Equipamiento Urbano
- Material vialidades.

Este índice no considera el confort térmico que debe de tener la vivienda, el cual resulta de suma importancia para la habitabilidad de la misma.

Dentro de la normativa nacional tenemos el Código de edificación de vivienda (CEV) cuyo objetivo es regular en sus aspectos esenciales el proceso de la edificación de vivienda, incorporando la reglamentación para el desarrollo de una construcción segura, confiable y habitable en un contexto urbano, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en dicho proceso, con el fin de asegurar la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de las viviendas y unidades habitacionales y la adecuada protección de los intereses de los usuarios (Comision Nacional de Vivienda, 2007).

Este código establece que se debe cuidar la envolvente: techo, muros y ventanas, con aislamiento térmico (R), con objeto de disminuir el consumo y demanda de energía por el uso del aire acondicionado, calefacción o mejorar el confort térmico, la capacidad de aislamiento depende de la resistencia de los materiales que componen el sistema constructivo por donde pasara el calor (Comision Nacional de Vivienda, 2007).

El aislamiento térmico de muros y techos se obtiene mediante el producto de su espesor por la resistividad del material:



Donde

b es el espesor del material en metros

k es la conductividad térmica del material

R tiene las unidades $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$).

2.3 Confort Térmico

La utilización de materiales de construcción adecuados al clima es muy importante en la aplicación y seguimiento de programas de ahorro de energía y confort térmico en nuestro país. Para saber si los materiales son adecuados para la construcción de edificios y viviendas confortables y económicas en el aspecto energético, es necesario conocer las propiedades termofísicas de los materiales utilizados para su edificación (Sánchez & Centeno Lara, 2002).

Existe un rango de temperatura en el que el cuerpo humano se siente "cómodo". Al estudio de los efectos del impacto climático en el cuerpo humano se le llama Confort Térmico. El estado de confort ha sido definido como aquella condición mental la cual expresa satisfacción con el ambiente.

Un ambiente térmicamente ideal es aquel en el que los ocupantes no expresan ninguna sensación de calor o frío. La condición es un estado neutro en el cual el cuerpo no necesita tomar ninguna acción en particular para mantener su propio balance térmico (Hernandez, 2002).

En el diseño de acondicionamiento termico de viviendas o espacios donde se requiere tener una temperatura controlada es un requisito tener informacion adecuada acerca de los materiales que en cada caso particular se vayan a utilizar en la construccion de paredes, asi como los aislamientos empleados en tales espacios (López & Morales, 2000).

Podríamos decir que existe confort térmico cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan

Evaluar el confort térmico es una tarea compleja, ya que valorar sensaciones conlleva siempre una importante carga subjetiva; no obstante, existen unas variables modificables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente y que contribuyen a la sensación de confort, éstas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física, la clase de vestido y la velocidad del aire.

La temperatura seca del aire es la temperatura a la que se encuentra el aire que rodea al individuo. La diferencia entre esta temperatura y la de la piel de las personas determina el intercambio de calor entre el individuo y el aire, a este tipo de intercambio se le denomina intercambio de calor por convección.

También existe el intercambio de calor por radiación entre unas y otras superficies del ambiente (piel, máquinas, cristales, paredes, techos, etc.), que hace que, por ejemplo, pueda ser agradable estar en una casa en la que la temperatura es de 15° C, pero sus paredes están a 22° C. Si la temperatura de la piel es mayor que la temperatura radiante media, el cuerpo cede calor por radiación al ambiente; si es al revés, el organismo recibe calor del medio.

Las paredes (o muros) son la frontera lateral de los espacios, y se asimilarn a las estructuras que soportan el techo, ya que en gran cantidad de casos -sobre todo en viviendas particulares- la estructura ocupa el mismo espacio físico que la pared

La pared debe cumplir con funciones de resistencia, delimitación de los espacios, privacidad y, en el caso de ser exteriores, deben ser aislantes térmicas, de humedad y acústicas.

Pueden definirse dos tipos de muro:

1. Los de material homogéneo multifunción, donde un solo material es a la vez el elemento resistente y delimitante, y sus revoques interior y/o exterior le dan la terminación y aislamiento a la humedad (por ejemplo, la mampostería)
2. Los de material heterogéneo donde distintos elementos cumplen las diferentes funciones: estructura, revestimientos interior/exterior, aislamiento contra la humedad y térmica.

(Olmos, Mario, & Gomez, 2003)

2.4 Conductividad Térmica de los materiales.

Se sabe que los materiales varían sus propiedades con la temperatura. En la mayoría de los casos las propiedades mecánicas y otras propiedades físicas dependen de la temperatura a la cual el material se desempeña durante su aplicación.

La energía térmica en los sólidos puede transferirse por conducción mediante dos mecanismos: por vibración de la red y por transporte de electrones libres. En nuestro caso al tratarse de no metales hablamos únicamente de vibración de las moléculas.

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, la experiencia muestra que hay una transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura se dice que la energía se ha transferido por

conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad:

$$q = kA \frac{dT}{dx}$$

Figura 5. Ecuación de transferencia de calor.

Donde q es la velocidad de transferencia de energía por calor o el flujo de calor, A es el área del sólido y $\delta t/\delta x$ es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor. La constante k se llama *conductividad térmica* del material; esto es, el calor debe fluir hacia las temperaturas más bajas.

La ecuación de transferencia de calor es conocida como ley de Fourier de la conducción de calor, en honor al físico-matemático francés Joseph Fourier, quien hizo contribuciones muy importantes al tratamiento analítico de la transferencia de calor por conducción. Esta ecuación es la que define la conductividad térmica. Basándose en esta definición pueden realizarse medidas experimentales para determinar la conductividad térmica de diferentes materiales.

La propiedad que caracteriza la habilidad de un material de transferir calor es la conductividad térmica, K es distinto para cada material. Si K es grande, el objeto será buen conductor del calor. (Los metales, por ejemplo) (Holman, 1999).

Al conocer el valor de K de los materiales de construcción se facilita la selección de los más adecuados para lograr el mejor aislamiento térmico posible de la casa habitación, lo cual redundará en una disminución de la energía requerida para mantener el acondicionamiento del lugar y por ende, representa un ahorro

para sus propietarios. En el pasado cuando no se tenía la presión de la conservación de la energía y del ambiente, ni la competitividad que se tiene ahora con la apertura comercial, era muy fácil solventar las deficiencias térmicas haciendo las paredes más gruesas, sin embargo en el momento actual, debido a las exigencias del uso racional de los materiales, es necesario conocer los coeficientes de conductividad térmica de los materiales empleados típicamente para acabados de muros, como lo son el yeso y cal (López & Morales, 2000).

Si analizamos el comportamiento térmico de los materiales que se emplearon en el presente trabajo, tenemos por una parte compuestos inorgánicos como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y por otra parte polímeros orgánicos, todos ellos clasificados como no metales.

Los materiales no metálicos se consideran aislantes térmicos por no contener electrones libres. El valor de la conductividad térmica está determinado por la movilidad de los electrones de las uniones químicas, las imperfecciones de la red o el desorden estructural. Esto hace que la dispersión entre las moléculas aumente y por tanto disminuya la conductividad térmica.

La porosidad de los materiales inorgánicos puede tener una drástica influencia sobre la conductividad térmica; el aumento en la fracción de volumen de poros conduce generalmente a una reducción de la conductividad térmica. Los poros contienen aire, el cual tiene una conductividad térmica muy baja (0.02 W/mK), lo que proporciona a la estructura una pequeña conductividad térmica global, por tanto la conductividad térmica aumenta con la densidad del material.

La conductividad térmica de los polímeros es en general muy baja, del orden de 0.3 W/mK. En estos materiales la transferencia de calor se realiza por la vibración, traslación y rotación de moléculas. La magnitud de la conductividad térmica depende del grado de cristalinidad; un polímero con un alto grado de cristalinidad y una estructura ordenada tendrá una conductividad mayor que el

mismo material amorfo. Esto se debe a la vibración coordinada más efectiva de las cadenas de moléculas en el estado cristalino.

Así como en los compuestos inorgánicos, las propiedades aislantes de los polímeros se pueden incrementar por la inserción de poros que se introducen generalmente por espumantes durante la polimerización. En la tabla 1 se muestra la conductividad térmica de diferentes materiales.

Tabla 1. Conductividad térmica típica de diferentes materiales.

Material	Conductividad térmica (cal/sec)/(cm ² C/cm)	Conductividad térmica (W/m K)*
Diamante	...	1000
Plata	1.01	406.0
Cobre	0.99	385.0
Oro	...	314
Latón	...	109.0
Aluminio	0.50	205.0
Hierro	0.163	79.5
Acero	...	50.2
Plomo	0.083	34.7
Mercurio	...	8.3
Hielo	0.005	1.6
Vidrio	0.0025	0.8
Concreto	0.002	0.8
Agua a 20° C	0.0014	0.6
Asbesto	0.0004	0.08
Hielo seco	0.00026	...
Fibra de vidrio	0.00015	0.04
Ladrillo refractario	...	0.15
Ladrillo rojo	...	0.6
Corcho	0.00011	0.04
Fieltro lana	0.0001	0.04

Piedra de lana	...	0.04
Polietileno	...	0.033
Poliuretano	...	0.02
Lana	0.0001	0.12-0.04
Aire a 0° C	0.000057	0.024

2.5 Materiales Inorgánicos típicos empleados en muros de vivienda económica

En la industria de la construcción de vivienda de interés social se emplean básicamente dos tipos de materiales que contienen compuestos inorgánicos para los acabados de muros, el yeso y la cal.

2.5.1 El yeso: métodos de obtención y aplicaciones

El yeso es un mineral en forma de roca denominado aljez o piedra de yeso. Esta roca está constituida principalmente por sulfato de calcio con dos moléculas de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), denominado sulfato de calcio dihidratado.

Llamamos yeso de construcción al producto pulverizado procedente de la cocción de la piedra de yeso o aljez, que una vez mezclado con agua, en determinadas proporciones, es capaz de fraguar en el aire. Este yeso se denomina sulfato de calcio hemihidratado o semihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$).

En el proceso de fabricación del yeso la piedra se extrae de canteras a cielo abierto o de canteras subterráneas, esta materia prima extraída, previamente a su cocción, se tritura utilizando maquinaria apropiada, como pueden ser: los molinos de rodillos, machacadoras de mandíbulas, etc. El tamaño de grano tras su trituración viene determinado principalmente por el método o sistema de cocción a emplear.

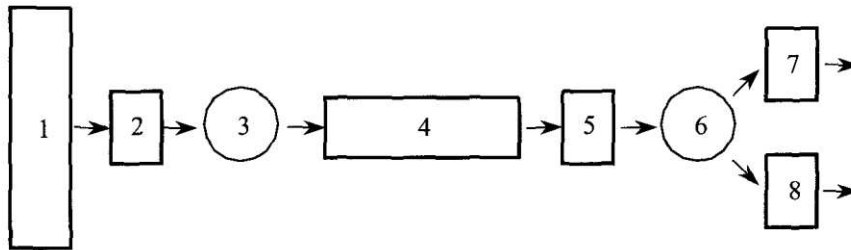


Figura 6. Proceso productivo del Yeso

- 1.- Canteras.
- 2.- Trituración de la materia prima.
- 3.- Almacenado en silos de la materia prima.
- 4.- Horno de cocción.
- 5.- Molienda del yeso fabricado.
- 6.- Almacenado en silos del yeso fabricado.
- 7.- Zona de carga directa del yeso en camiones cisterna.
- 8.- Zona de ensacado automático del yeso.

Entre las buenas propiedades del yeso como material para revestimiento, destacan las buenas prestaciones desde el punto de vista de la habitabilidad, la durabilidad y la protección ante el fuego. Se pueden considerar los revestimientos de yeso como elementos constructivos que colaboran eficazmente en el acondicionamiento térmico, higrotérmico, acústico y luminoso de los edificios.

En cuanto al coeficiente de conductividad térmica del yeso varía dependiendo de la densidad y humedad de los revestimientos. Así en productos ligeros de yeso celular se alcanzan valores que suponen un extraordinario poder de aislamiento térmico, mientras que en yesos más densos se obtienen valores que lo sitúan en un buen puesto con respecto a otros materiales. Es decir a menor coeficiente de conductividad mayor aislamiento térmico.

El coeficiente de absorción acústica del yeso es muy bajo, pero se puede mejorar actuando en la superficie del yeso mediante tratamientos como la

microfisuración superficial del material, para de esta forma conseguir que la energía sonora se atenúe a medida en que la onda penetra por el yeso.

El yeso es un material incombustible, por tanto no hay que considerarlo en absoluto al estudiar la carga de fuego de los edificios. Además tiene una baja conductividad térmica, lo que evita la propagación del calor producido en los incendios y contiene agua libre y agua química necesitando consumir energía calorífica para evaporarla. El tiempo de protección de los materiales se expresa en minutos y se considera como el grado de resistencia al fuego.

2.5.2 La cal: métodos de obtención y aplicaciones.

La cal es un compuesto cáustico, blanco en estado puro, que proviene de la calcinación de la piedra caliza. La cal común es el óxido de calcio de fórmula CaO , también conocido como cal viva. Es un material muy utilizado en construcción. Como producto comercial, normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro.

La cal viva se puede obtener normalmente por descomposición térmica de materiales como la piedra caliza, que contiene carbonato de calcio (CaCO_3), material extraído de depósitos sedimentarios llamados caliches. Se somete a temperaturas muy altas, que oscilan entre 900 y 1200 °C, por un período de 3 días, en un horno rotatorio o en un horno especial llamado klin de cal.

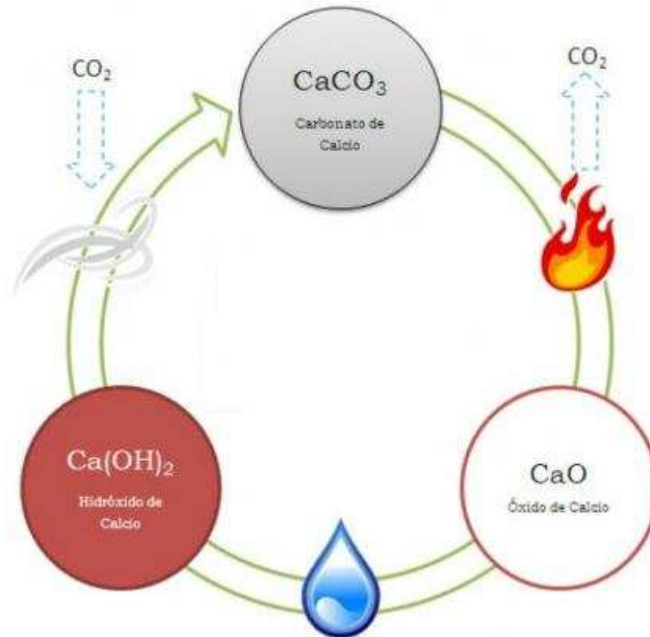


Figura 7. Ciclo de obtención de la cal (Grupo Calidra).

El proceso, llamado calcinación, libera una molécula de dióxido de carbono (CO_2), resultando el material llamado óxido de calcio (CaO), de color blanco y muy cáustico (quema los tejidos orgánicos). Sin embargo, el proceso puede ser reversible, ya que al enfriarse la cal, comienza a absorber nuevamente el CO_2 del aire, y después de un tiempo, vuelve a convertirse en carbonato de calcio (CaCO_3).

La cal viva puede ser combinada con agua, produciéndose una reacción violenta que desprende mucho calor. Se forma entonces el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) que se comercializa en forma de polvo blanco conocido como cal muerta o apagada.

Desde la antigüedad, el uso más frecuente de la cal es como aglomerante en la construcción. Al mezclar cal con agua y arena, se produce una especie de mortero que se utiliza para pegar ladrillos, piedras y también para aplanar paredes y techos. Este uso se debe principalmente a que la cal puede adquirir mucha dureza al secarse y puede ser un material muy resistente. Eso se produce debido

a que la cal apagada absorbe el dióxido de carbono que había perdido y se convierte lentamente en carbonato de calcio al secarse.

Debido a esa misma característica, la cal también se utiliza para crear pinturas murales con la técnica del fresco. Al endurecerse la cal, por convertirse en carbonato de calcio, facilita la fijación de los colores del fresco. En muchos lugares, también se usa para recubrir fachadas debido a su impermeabilidad.

Otros usos de la cal incluyen la neutralización de los suelos ácidos en agricultura, la fabricación de vidrio y papel, el lavado de ropa blanca, el refinado de azúcar, el ablandamiento del agua, incluso en alimentación, para hacer sémola de maíz y tortillas en un proceso llamado nixtamalización.

La cal forma una matriz cristalina donde engloba partículas de otros materiales inertes como las arenas, formando una masa estable y con mejores propiedades mecánicas (Ramírez, 2009).

La cal se ha utilizado por su color y propiedades desinfectantes como recubrimiento en muchas superficies. Para la arquitectura ofrece además una protección al medio ambiente protegiendo los muros de la humedad, erosión y sirve como interfase con el usuario (Ramírez, 2009).

2.6 Polímeros, métodos de obtención y clasificación.

Químicamente los polímeros son cadenas largas de moléculas orgánicas de alto peso molecular, desde 10 000 hasta 1 000 000 g/mol; estas cadenas están formadas por unidades repetitivas llamadas monómeros, esta estructura molecular es la responsable de las características mecánicas y térmicas. Los primeros polímeros usados fueron de origen natural; como el hule, almidón, proteínas y lana; A principios del siglo veinte fueron fabricados los primeros

polímeros sintéticos, siendo los de principal importancia la baquelita y el nylon (Koutsos, 2002).

2.6.1 Métodos de obtención

El proceso por el cual pequeñas moléculas orgánicas individuales, denominadas monómeros, se unen entre sí para formar estas macromoléculas se denomina polimerización. Desde hace más de un siglo, la tecnología química ha producido polímeros sintéticos sencillos mediante reacciones de polimerización de compuestos químicos en su mayor parte de origen orgánico (Hermida, 2008).

Los tipos de polimerización son los siguientes:

Polimerización por adición: Una molécula de hidrocarburo de bajo peso molecular que contiene un ó más dobles enlaces entre átomos de C, llamada monómero. La reacción de polimerización puede ser iniciada por un radical libre, una sustancia ácida o una base extremadamente fuerte, y la velocidad de reacción puede verse influenciada por la acción de la temperatura, la presión y/o un catalizador. La doble unión entre los átomos de C se rompe, en este estado, la molécula se denomina 'mero'. Cuando un mero se combina con otros, los enlaces se completan formando y si esto sucede varias veces, se forma una cadena (polímero).

Polimerización por condensación: Para este tipo de polimerización se requiere que las moléculas de monómero tengan al menos dos grupos funcionales útiles, como por ejemplo grupos alcohol, ácidos, aminas u otros. En esta reacción tiene lugar la síntesis de una molécula pequeña de bajo peso molecular, generalmente agua, algún alcohol o NH_3 , que es necesario separar del medio de reacción para lograr que las cadenas poliméricas alcancen altos pesos moleculares.

Industrialmente la reacción de polimerización se produce en reactores donde se introducen como materia prima los monómeros correspondientes, el iniciador, solvente y emulsificante (si es el caso) y el catalizador si se requiere. Según el proceso, se les da presión y/o temperatura, agitando la mezcla para favorecer la reacción, obteniéndose el polímero. Estos productos poliméricos se obtienen en forma de gránulos, granza, polvos o líquidos, que serán nuevamente procesados para convertirlos en los productos definitivos.

Muchos productos poliméricos pueden ser polimerizados por varios métodos. Los más importantes son:

- Polimerización en masa
- Polimerización en solución
- Polimerización en suspensión
- Polimerización en emulsión

Debido al gran aumento de la producción y aplicaciones de estos materiales, en los últimos años han sustituido a los polímeros naturales e, incluso, a otro tipo de materiales como los metales y aleaciones en determinadas circunstancias (Koutsos, 2002).

El método de obtención de las esferas de PMMA es mediante una polimerización vía radicales libres y empleando CO₂ súper crítico como disolvente o medio de reacción. En este proceso se obtienen esferas con un tamaño de partícula que pueden variar de 100 nm a 100 µm dependiendo de las condiciones de reacción en las que se utilizan surfactantes de diversas naturalezas químicas para su estabilización.

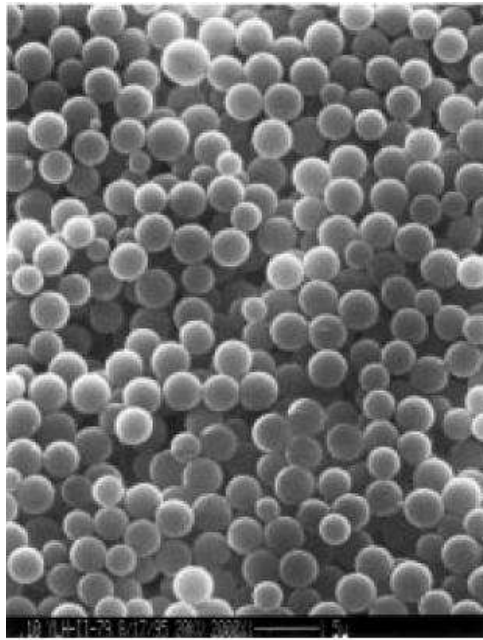


Figura 8. Micrografía electrónica de Barrido de esferas de PMMA obtenidas a partir de una polimerización por dispersión en CO₂ usando PFAO como estabilizador (Kendall & Canelas, 1999).

2.6.2 Clasificación y características de los polímeros

Los polímeros pueden clasificarse de diversas formas tomando en consideración características físicas presentes en ellos; por ejemplo, los polímeros pueden clasificarse por sus diferencias en estructura molecular, de ahí que las macromoléculas pueden ser:

- Lineales: En donde las macromoléculas no cuentan con segmentos o cadenas laterales.
- Ramificadas: Es posible encontrar cadenas ó segmentos lateras en sitios específicos de la cadena polimérica, sin que las cadenas se unan entre sí.
- Entrecruzados: Las cadenas poliméricas se unen químicamente entre sí a través de segmentos o cadenas laterales formando una estructura de red.

Una de las clasificaciones más habituales es la que se realiza según el comportamiento térmico del polímero. Así pues, los polímeros pueden ser:

Termoplásticos: Los polímeros se reblandecen y fluyen, pudiendo ser conformados ó moldeados varias veces por el efecto combinado de la presión y temperatura.

.

Termofijos: Son materiales poliméricos duros y rígidos que permanecen con estas propiedades incluso a temperaturas elevadas, aunque por encima de los 400°C se degradan.

.

Asimismo, los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico en:

Elastómeros: Presentan alta deformación elástica al aplicar una fuerza sobre ellos, pudiendo recuperar total o parcialmente su forma cuando se elimina la fuerza.

Adicional a las particularidades de cada uno, los polímeros tienen las siguientes características generales:

- Materiales ligeros y suaves.
- Resistentes a la corrosión
- Insolubles en agua (en su mayoría)
- Solubles, en su mayoría, en disolventes orgánicos
- Versátiles de color
- Baja conductividad térmica (entre 100 y 1000 veces menor que en los metales)
- Pobre conductividad eléctrica en la mayoría de los casos
- Coeficiente de dilatación muy superior al de los metales
- Alta capacidad calorífica

- Envejecimiento por acción del oxígeno y la luz ultra violeta.

Las propiedades de los polímeros dependen principalmente de su estructura molecular. En su mayoría, los polímeros tienen una estructura amorfa; sin embargo, algunos polímeros lineales y ramificados, pueden formar zonas altamente ordenadas, es decir, tienen parcialmente una estructura cristalina, lo que conduce a la elevación de la resistencia mecánica, dureza y estabilidad térmica. En el caso de la estructura cristalina se incrementa la interacción molecular, pero se reduce la flexibilidad de las moléculas.

La relación de los volúmenes de todas las zonas cristalinas de los polímeros entre su volumen total se denomina grado de cristalinidad, que es una de las características más importantes de los polímeros.

Un alto grado de cristalinidad (60 a 80 %) poseen los policarbonatos, el polipropileno y el polietileno de alta densidad (Brindis, 2002).

2.6.2.1 Propiedades térmicas de los polímeros.

Hay una propiedad térmica que identifica a cada tipo de polímero, llamada la temperatura de transición vítrea, o Tg. Cuando un polímero es enfriado por debajo de esta temperatura, su comportamiento se torna de un material rígido y quebradizo igual que el vidrio. Si el polímero está por encima de su Tg, su comportamiento es de un fluido viscoso; y con ello, sus propiedades se tornan más flexibles y elásticas. Algunos polímeros son empleados a temperaturas por encima de sus temperaturas de transición vítrea y otros por debajo.

La transición vítrea no es lo mismo que la fusión; la fusión es la transición que se manifiesta en las regiones cristalinas de algunos polímeros; ocurre cuando dichas regiones de las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en segmentos desordenados. La transición vítrea es una transición que se manifiesta en las regiones amorfas de los polímeros, cuyas

cadena no están dispuestas siguiendo un arreglo periódico, sino que están esparcidas en desorden. Aún los polímeros más cristalinos también tienen regiones amorfas, estas regiones generalmente constituyen el 40 – 70 % de la muestra polimérica. Aunque existen casos excepcionales como el Kevlar que puede tener hasta más del 90% de cristalinidad.

Para medir los puntos de fusión y las temperaturas de transición vítrea T_g , se emplea la calorimetría diferencial de barrido. En este instrumento, se mide el flujo de calor dentro de una pequeña cantidad de muestra (10 – 20 mg), esta muestra es sometida a un cambio lineal programado de temperatura.

Es necesario establecer las diferencias que existen entre la transición vítrea y la fusión. La fusión únicamente se presenta en las regiones cristalinas de ciertos polímeros, mientras que la transición vítrea ocurre en casi todos los materiales poliméricos, incluyendo las regiones amorfas de los polímeros más cristalinos.

Cuando un polímero cristalino funde, ocurren dos cosas: absorbe una cierta cantidad de calor (el calor latente de fusión) y experimenta un cambio en su capacidad calorífica. Cualquier cambio debido al calor, ya sea fusión o congelamiento, ebullición o condensación, que involucre un cambio en la capacidad calorífica y un calor latente, se denomina transición de primer orden.

En el caso de la transición vítrea (T_g), no hay ninguna depresión, como así tampoco ningún pico en su curva en forma general, esto es porque durante la transición vítrea, no hay calor latente entregado o absorbido. Lo único que vemos en la temperatura de transición vítrea es un cambio en la capacidad calorífica del polímero.

Puesto que hay un cambio de capacidad calorífica, pero no hay calor latente involucrado en la transición vítrea, decimos que ésta es una transición de segundo orden.

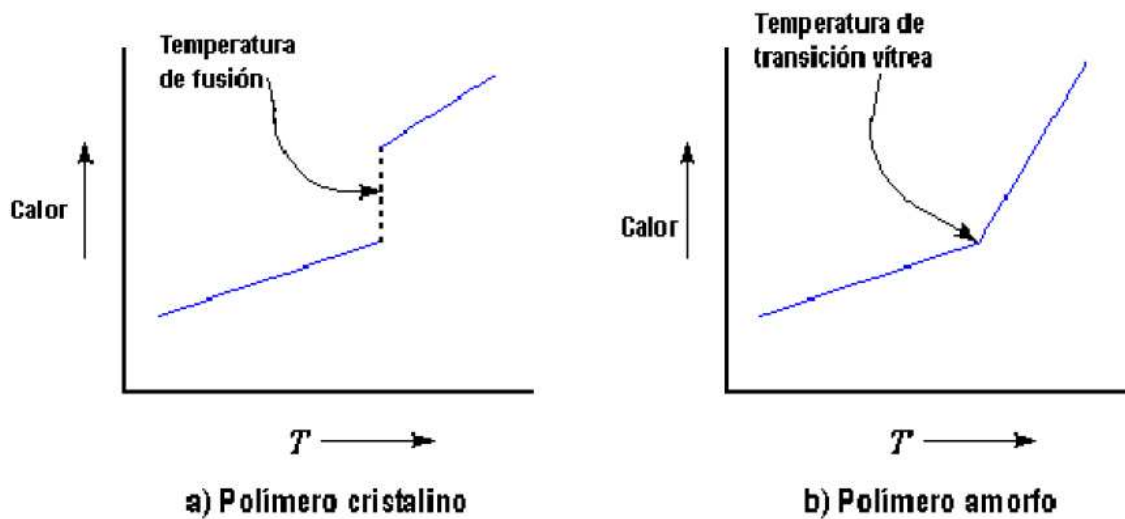


Figura 9. Grafica Calor vs Temperatura (Brindis, 2002).

La grafica de la izquierda representa lo que sucede cuando un polímero 100% cristalino es sometido a un calentamiento, en esta se observa una discontinuidad que representa la temperatura de fusión. En ese punto, se adiciona una gran cantidad de calor sin que provoque aumento alguno de la temperatura, ese es el calor latente de fusión. Como puede apreciarse la pendiente se hace mayor una vez que se sobrepasa la ruptura; esta pendiente representa la capacidad calorífica, es decir que el aumento de la pendiente corresponde al aumento de capacidad calorífica por encima del punto de fusión.

En la gráfica de la derecha, se observa lo que ocurre con un polímero 100% amorfo cuando sufre un calentamiento, no se presenta una ruptura o salto. El único cambio que se presenta es la temperatura de transición vítrea, es un incremento de la pendiente, lo que significa, que se logra un aumento en la capacidad calorífica (hay casos en que sucede lo contrario, hay una disminución en la capacidad calorífica, lo que se traduce en un descenso en la pendiente de la gráfica). Es posible observar un cambio en capacidad calorífica en la Tg, pero no una ruptura, como sí puede apreciarse en el caso de un polímero cristalino, por lo que se confirma lo expuesto anteriormente: no hay calor latente involucrado en

una transición vítrea y esto no es más que la diferencia entre una transición de primer orden, como la fusión, y una de segundo orden, como la transición vítrea.

2.6.2.2 Propiedades mecánicas de los polímeros

Las propiedades mecánicas de un material se pueden definir como aquellas asociadas a sus características elásticas e inelásticas cuando se le aplica una fuerza.

El estudio de las propiedades mecánicas se refiere a la respuesta de un cuerpo cuando se le somete a una fuerza externa, la cual genera relaciones del tipo tensorial con la deformación que sufre este material (en general validas para la zona elástica).

Las propiedades mecánicas se determinan usualmente con pruebas de laboratorio en una muestra de un material que tiene una forma geométrica específica. Estas pruebas se emplean típicamente en ingeniería para obtener información básica de diseño y evaluar los materiales con relación a las especificaciones de aceptación.

Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen de varios factores; dentro de los que se encuentran el peso molecular, la estructura molecular, el tipo de polímero y método de prueba.

La prueba de tensión o esfuerzo se realiza aplicando una carga a un espécimen de geometría específica (moldeado en una forma estandarizada llamada probeta), el requisito principal es que la sección transversal se debe de conocer con precisión y debe de ser uniforme en toda la longitud del espécimen.

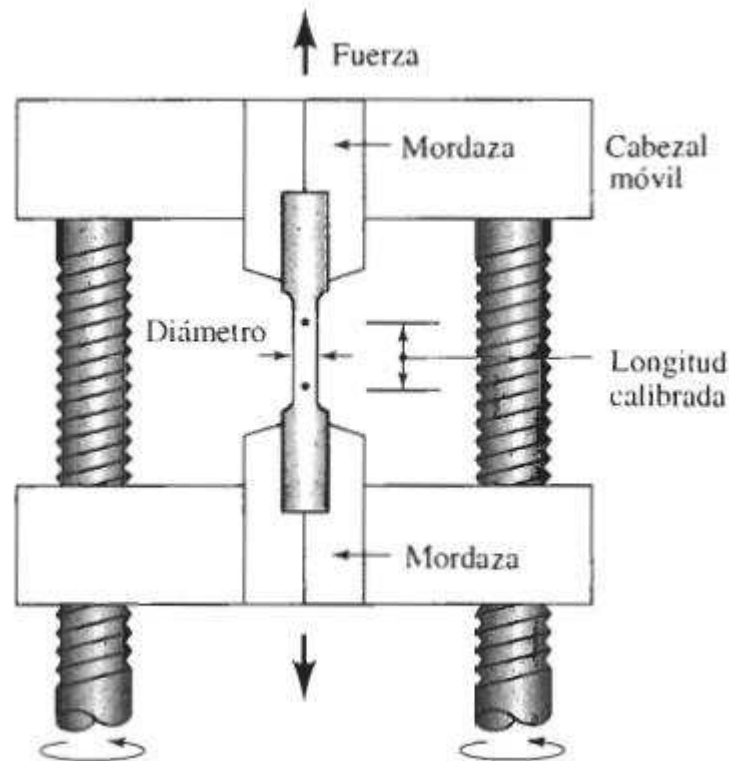


Figura 10. Diagrama de una máquina de tensión universal cabeza móvil (Askeland, 1998).

Es importante definir el esfuerzo; es el resultado de la respuesta interna que exhibe un material cuando se le imponen fuerzas, es decir, es la fuerza aplicada por unidad de sección y se puede expresar en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) y se calcula simplemente dividiendo la fuerza total entre el área. Existen diferentes unidades para expresar el esfuerzo.

Sistema	Fuerza	Longitud	Esfuerzo
Técnico métrico	Kilogramo (Kg)	Metro (m)	kg/m^2
Técnico ingles	Libra (lb)	Pie (ft)	lb/ft^2
Físico (CGS)	Dina (din)	Centímetro (cm)	din/cm^2
Internacional (MKS)	Newton (N)	Metro (m)	N/m^2

Figura 11. Unidades para expresar el esfuerzo (Van Vlack, 1967).

Cuando se aplica una fuerza a un material se deforma. Cuando la fuerza se aplica de tal modo que el espécimen es estirado, esta deformación produce una elongación; cuando la fuerza se empuja contra el espécimen se produce una compresión. En cualquier caso se puede expresar la deformación que resulta como una deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) y la carga se puede poner en términos de esfuerzo.

A medida que se incrementa el esfuerzo en el espécimen, primero se presenta una deformación elástica y después se presenta la deformación plástica. Esta deformación se mide con un dispositivo llamado extensómetro sujeto al espécimen en tensión. El dispositivo se puede controlar por medios mecánicos o electrónicos, pero en cualquier caso mide con mucha precisión el incremento de longitud relativo a la longitud original en cada incremento de carga. Posteriormente se convierten los datos de carga-alargamiento y esfuerzo-deformación como sigue:

$$\text{Esfuerzo } (\sigma) = \frac{\text{Carga } (F)}{\text{Área } (A_0)}$$

Figura 12. Ecuación de esfuerzo

La deformación longitudinal se obtiene determinando el alargamiento de la longitud original del espécimen entre la longitud inicial como se muestra en la figura 12.

$$\text{deformacion } (e) = \frac{\text{longitud inicial} - \text{longitud final } (\Delta l)}{\text{longitud inicial } (l_0)}$$

Figura 13. Ecuación de deformación

Derivado del esfuerzo (σ) y la deformación (e) se tiene el modulo de elasticidad (E) o modulo de Young, que es la medida de la rigidez de un material,

mientras más alto es el modulo, es menor la deformación elástica que resulta de la aplicación de un esfuerzo dado. El modulo elástico se expresa como la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria de acuerdo a la figura 13.

$$\text{Módulo elástico } (E) = \frac{\text{esfuerzo } (\sigma)}{\text{deformación } (e)}$$

Figura 14. Modulo elástico.

2.6.2.2.1 Curva de esfuerzo – deformación.

Los datos que se obtienen en la prueba de tensión se grafican como curvas de esfuerzo – deformación. La forma de la curva dependerá del material que se prueba, la historia de su proceso y de la temperatura a la que se realiza la prueba. Cuando los esfuerzos están en la región elástica, el espécimen recuperara sus dimensiones originales si se remueve la carga. En el caso de los polímeros el esfuerzo no es proporcional a la deformación y la deformación que se puede conseguir en cada incremento de carga en la región elástica puede variar.

La curva de esfuerzo – deformación de un material puede proporcionar una gran cantidad de información valiosa sobre el mismo y su adecuación para varias aplicaciones. En la figura 15 se presenta una curva típica de esfuerzo – deformación, a continuación se examinara esta curva junto con las definiciones de varios parámetros del material que se pueden determinar de modo directo a partir de la grafica.

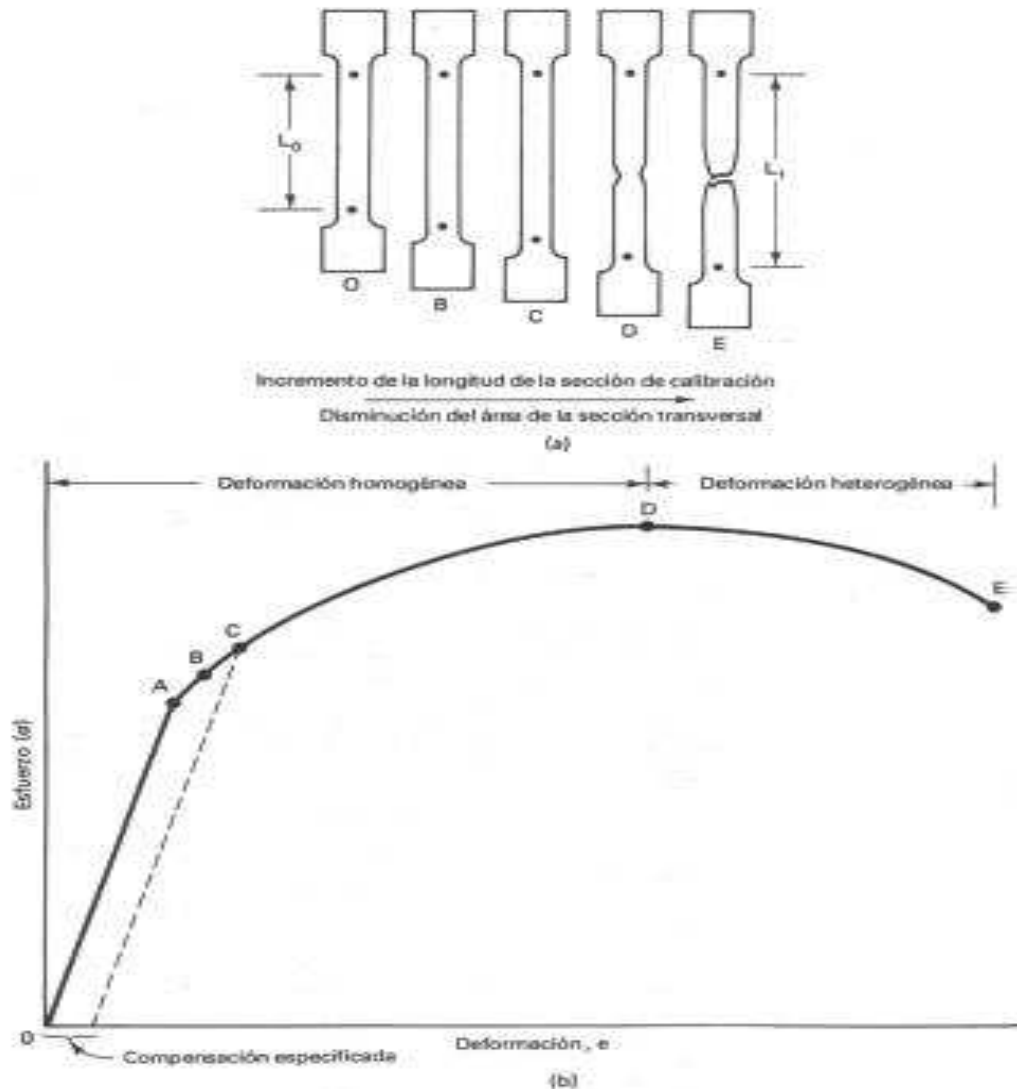


Figura 15. (a) Apariencia del espécimen de tensión en etapas diferentes de la prueba de tensión; (b) Curva típica de esfuerzo – deformación.

1. *Limite de proporcionalidad.* Es el valor más alto para el cual la relación esfuerzo – deformación es lineal (Punto A).
2. *Limite elástico.* Es el esfuerzo más alto que se puede imponer al material sin que haya deformación permanente cuando se remueva la carga (Punto B).
3. *Resistencia de fluencia.* La resistencia de fluencia corresponde al esfuerzo que se requiere para producir una deformación plástica pequeña y específica. Esto se determina estableciendo gráficamente una línea paralela a la porción recta de la curva esfuerzo – deformación

por algún valor específico de la deformación (por ejemplo a 0.2 % de la deformación) la intersección de esta línea paralela con la curva de esfuerzo – deformación proporciona la resistencia de fluencia (punto C).

4. Resistencia de última tensión (RUT). Es una medida de la carga máxima que puede soportar un material bajo condiciones de carga uniaxial. Se determina tomando la longitud de la carga máxima que se obtuvo durante la prueba y dividiéndola entre el área de la sección transversal original. Se expresa mediante la siguiente ecuación Figura 15 (punto D).

$$RUT, (\sigma_{TS}) = \frac{\text{Carga máxima } (P_{max})}{\text{Área original } (A_0)}$$

Figura 16. Ecuación Resistencia última tensión (RUT)

La resistencia última tensión no se utiliza con frecuencia en el diseño de estructuras o equipo, porque a este nivel de esfuerzos el componente estructural ya ha sufrido una deformación plástica importante. Además, después de que se excede la resistencia última de tensión del material puede seguir deformándose plásticamente a esfuerzos menores que el de este valor máximo (Van Vlack, 1967).

El polímero que se analiza en esta investigación es un polímero acrílico, los polímeros acrílicos son derivados del ácido acrílico y de sus compuestos. El termoplástico más importante en el grupo acrílico es el polimetilmetacrilato, es un polímero completamente amorfo pero tiene una alta resistencia y una excelente estabilidad dimensional debido a las cadenas rígidas del polímero (Estévez, 2002).

El PMMA es un polímero con cadenas laterales y amorfas. Su principal atractivo es su claridad óptica y se usa cuando se necesita transparencia al aire libre, como ventanillas de aeronaves, vidriados en edificios.

Tiene una buena resistencia al agua y a los productos químicos, pero es un material muy suave y se raya con facilidad (Hermida, 2008).

Las aplicaciones de este polímero son diversas, en la industria del automóvil, iluminación, cosméticos, espectáculos, construcción y óptica, entre muchas otras. En el mundo de la medicina se utiliza la resina de polimetilmetacrilato para la fabricación de prótesis óseas y dentales y como aditivo en polvo en la formulación de muchas de las pastillas que podemos tomar por vía oral. En este estudio se emplea como aislamiento térmico mezclándolo con yeso y cal.

La idea de asociar uno o más materiales con características complementarias entre sí en el seno de un mismo sólido llamado compuesto fue desarrollada inicialmente en vías de aplicaciones particulares y con un doble objetivo: mejorar desempeños mecánicos y aligerar estructuras. Los materiales compuestos son aquellos constituidos por la combinación de dos o más tipos de materiales que actúan como matriz reforzante respectivamente, lo que da lugar a propiedades específicas que se ajustan al requerimiento y diseño del usuario.

En el diseño de un nuevo material se deben conocer las propiedades del material tales como resistencia, conductividad térmica y densidad. Los materiales compuestos son materiales complejos y perfeccionables, con un alto valor agregado, diversificados en matrices poliméricas, metálicas o cerámicas. En un material compuesto, la naturaleza y morfología de sus constituyentes, su disposición mutua y sus fracciones volumétricas no son elegidas al azar, se busca siempre una sinergia entre los constituyentes y el resultado es un material con propiedades aumentadas con respecto a sus constituyentes por separado.

III. METODOLOGIA.

El trabajo experimental fue realizado en 2 etapas, primero la preparación de las muestras en el laboratorio de Nanotecnología de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto. La etapa de evaluación de las muestras fue realizada en dos instituciones externas, en el caso de la determinación de la conductividad térmica a las muestras, esta fue realizada con el apoyo del Centro Nacional de Metrología y en el caso de las pruebas de Flexión y Adherencia fueron realizadas con el apoyo del Centro de Física Aplicada y Tecnología avanzada de la UNAM.

3.1 Materiales.

Los materiales empleados para la metodología fueron Yeso Supremo de la marca USG, cal Quimex 95 de grupo Calidra, micro esferas de polímero marca Arkel elaboradas por IGCAR de México S.A. de C.V. y agua de la red municipal. Todos los materiales fueron conservado en condiciones de laboratorio y cerrados en su empaque original entre cada toma de muestra para conservar al máximo sus propiedades y evitar que absorbieran humedad o CO₂ del medio ambiente.

3.2 Métodos y equipos.

La metodología utilizada en este estudio consistió en realizar 2 formulaciones mezcladas manualmente; siendo la primera una mezcla de yeso con microesferas de polímero y la segunda una mezcla de cal con el mismo contenido de material polimérico.

La formulación para estas mezclas fue extraída de un trabajo previo de investigación realizado por los investigadores Galván y Hernández (2011) titulado: “Caracterización de un nuevo recubrimiento con aplicaciones en la construcción,

adicionado con micro esferas poliméricas” donde se evaluó este material en combinación con cemento.

Tabla 2. Formulaciones evaluadas (en % volumen)

Muestra	Composición
1	Cal 100%
2	Cal 60% - Polímero 40%
3	Yeso 100 %
4	Yeso 60 % - Polímero 40%
5	Yeso 70 % - Polímero 30%*

*esta formulación fue evaluada únicamente en la prueba de flexión.

Para validar la mejora en las propiedades de las formulaciones arriba mencionadas se consideraron los análisis de 3 metodologías analíticas para determinar las propiedades de interés a las formulaciones de yeso – microesferas de polímero y cal- microesferas de polímero. Las metodologías analíticas son:

1. Conductividad térmica. Determinación de las constantes de conductividad térmica de los materiales
2. Prueba de Flexión. Determinación del esfuerzo y el ángulo de flexión de los materiales.
3. Caracterización en MEB. Observación de las características topológicas del material y de la unión de las interfaces yeso-polímero y cal-polímero.

3.2.1 Conductividad Térmica

Para la conductividad térmica se prepararon muestras circulares de 20 cm de diámetro y 2 cm de espesor, de cada formulación y muestras testigo con material sin polímero. Las muestras fueron evaluadas en un Aparato de guarda caliente con guarda propiedad del CENAM diseñada de acuerdo a la norma “ASTM-C-177-97 Standard Test Method for Steady-State Thermal Properties by means of the Guarded-Hot-Plate apparatus”.



Figura 17. Aparato de placa caliente con guarda (Lira, 2008).

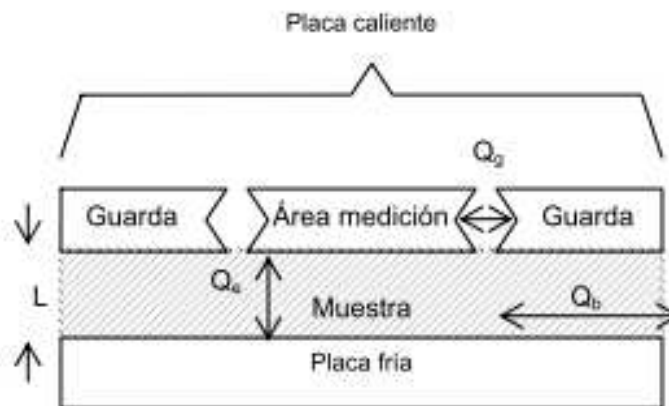


Figura 18. Diagrama del aparato de placa caliente con guarda (Lira, 2006).

El principio de operación del aparato es basado en la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente entre dos cuerpos fríos y una placa caliente central que tiene una guarda (Lira, 2008).

Este equipo es un aparato primario que utiliza la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente y permite determinar la conductividad térmica mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = q l / (A \Delta T)$$

Ecuación 1. Conductividad térmica

Donde:

λ = conductividad térmica (W/mK)

ΔT = gradiente de temperatura a través de la muestra (K o °C),

A = área de la sección transversal (m²)

l = espesor de la muestra (m)

El flujo de calor q se calcula por medio de las mediciones de intensidad de corriente eléctrica que circula por la resistencia calefactora y la caída de tensión en la misma, por medio de la ecuación:

$$Q = V I$$

Ecuación 2. Cálculo del flujo de calor (Lira, 2008).

Donde

V = diferencia de potencial (Volts)

I = Intensidad de corriente (amperes)

3.2.1.1 Procedimiento de medición.

El procedimiento para realizar las mediciones fue el siguiente:

1. Preparación de la muestra e instalación en el aparato
2. Establecer el estado permanente térmico,

3. Adquisición de datos

3.2.1.1.1 Preparación de la muestra e instalación en el aparato

Las muestras preparadas con mezcla de los materiales antes mencionados (yeso, cal y polímero) fueron mezcladas manualmente, se hidrataron con agua de la red municipal, vaciadas en moldes que posteriormente fueron secados en estufa a 60 °C por seis horas.



Figura 19. Mezclado y vaciado de las muestras.



Figura 20. Secado y acabado de las muestras.

El siguiente paso fue pulir las caras para asegurar su homogeneidad superficial y paralelismo, y así tener un buen contacto térmico. También fue necesario acondicionar las muestras a la temperatura de prueba previa al montaje de las placas en el equipo.

El proceso de preparación tanto para la cal como para el yeso fue el mismo únicamente cambiaron los pesos de cada material debido a sus densidades diferentes

3.2.1.2 Establecer el estado permanente térmico

Para alcanzar el régimen permanente se puso en operación el aparato de placa caliente a la temperatura de prueba (35 °C) durante varias horas, hasta que se estabilizaron las temperaturas (aproximadamente 5 horas); para la obtención del régimen permanente fue necesario aislar el sistema del medio ambiente mediante la guarda del equipo

3.2.1.3 Adquisición de datos

Para determinar la conductividad térmica se requiere la siguiente información que debe ser medida después de haber alcanzado el régimen permanente:

1. Espesor (m) y área de la muestra (m²).
2. Potencia eléctrica suministrada (intensidad de corriente y diferencia de potencial)
3. Temperatura superficial de la muestra (°C)

De todos estos factores únicamente el espesor se mide directamente, los otros datos se calculan a partir de las mediciones realizadas. El valor de conductividad se obtiene al sustituir los valores obtenidos en la Ecuación 2 y 1, anteriormente mencionadas, obteniendo así el valor de conductividad térmica de las placas evaluadas.

3.2.2 Prueba de Flexión

Esta prueba está basada en la norma ASTM C473 – 03, donde se indica que las muestras deben ser acondicionadas previas a su evaluación. Estas condiciones fueron: 29.5 ± 8.5 °C y $50 \pm 2\%$ de humedad relativa.

La prueba de flexión se realizó en la máquina universal de pruebas mecánicas Zwick/Roell modelo Z005 propiedad del Centro de Física Aplicada y Tecnología avanzada de la UNAM (figuras 21 y 22), las condiciones de prueba a controlar fueron: velocidad de avance del cabezal móvil (superior) $1 \text{ in/min} \pm 5 \text{ s}$ ($25 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ s}$), dimensiones de las probetas de acuerdo a la norma ASTM C473 – 03, acomodo de las probetas, punto de aplicación de la carga etc.

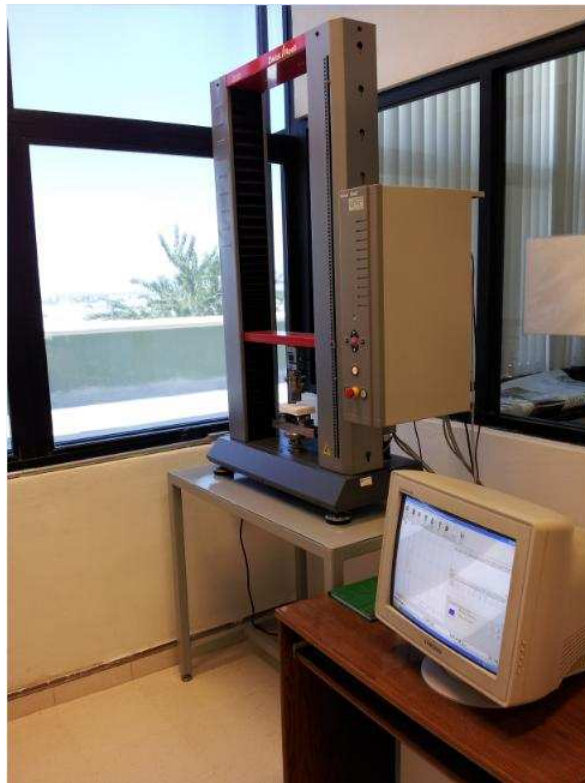


Figura 21. Máquina Universal Zwick/Roell modelo Z005.

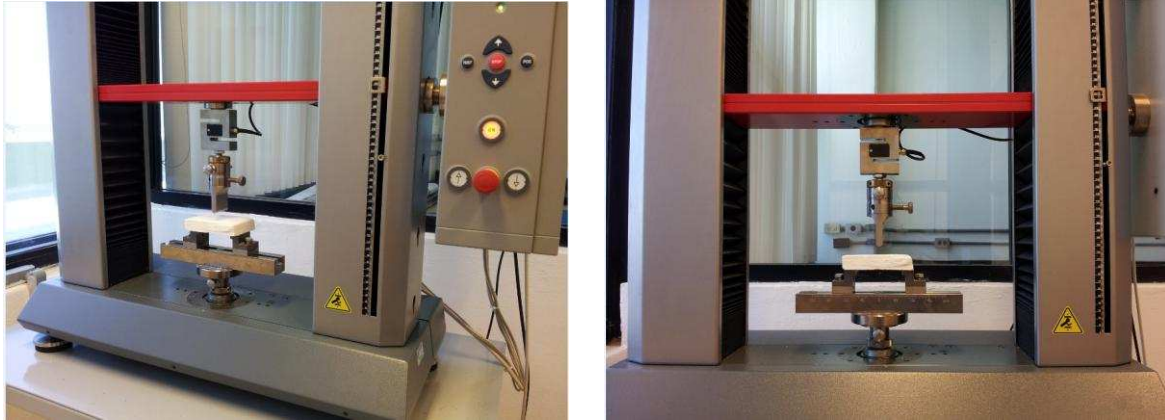


Figura 22. Montaje y configuración de la prueba de flexión.

En la figura 23 se muestra el acomodo de la probeta y los soportes de la probeta así como el punto de aplicación de la fuerza, siendo F la fuerza aplicada en Newtons, L la distancia entre los soportes en milímetros y d el espesor de la probeta. Se puede observar los dos esfuerzos a los que fue sometida la muestra en la prueba. El punto B es el esfuerzo a la flexión máximo, objeto de estudio en esta investigación, y el punto A es el esfuerzo a la tensión máximo.

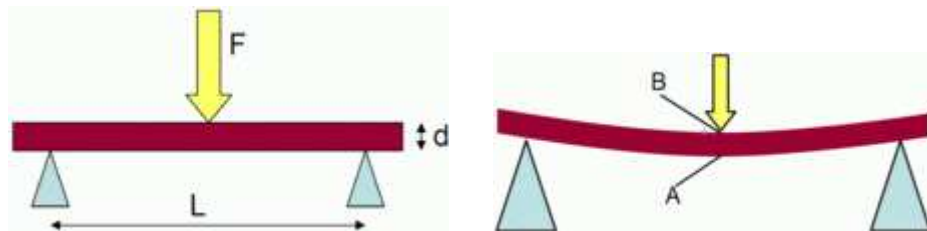


Figura 23. Diagrama de acomodo y efecto de la carga en las pruebas de flexión.

Las dimensiones de largo y ancho de las muestras fueron escaladas 1:4 de las especificadas en la norma debido al espacio disponible en la máquina universal de pruebas mecánicas empleada, el espesor de la muestra fue definido en base al Código de Edificación de Vivienda, donde se menciona en el *punto 2203.1 Recubrimientos interiores* (Comision Nacional de Vivienda, 2007), que el

espesor de acabados interiores debe de ser de 1 – 2 cm para yeso y de 1 – 2.5 cm para mezclas con cal. Considerando esto las dimensiones finales de las placas de yeso y cal evaluadas fueron de 10.16 cm x 7.62 cm x 1.5 cm.

3.2.3 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Microscopia del Centro de Física Aplicada y Tecnología avanzada de la UNAM en el microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6060LV. Para la preparación de las muestras se utilizó una Evaporadora de Metal (Sputter Coater EMS 550) para recubrir las con oro y así ser observadas en el microscopio.

3.2.3.1 Preparación de las muestras para analizar en el MEB

1. Se lava el porta muestras (el cual está hecho de bronce) con agua y jabón.
2. Se pule en una franela con una pasta especial (brasso, limpia metales).
3. Se coloca en un vaso precipitado que contiene acetona para remover todo tipo de residuos.
4. El vaso precipitado es colocado en un baño ultrasónico (modelo 3210 Branson) por 10 minutos.
5. Una vez seco el porta muestras, se coloca la muestra adhiriéndola con una cinta conductora (carbono).
6. Como la muestra no es conductora, se recubre con una película de oro en una evaporadora (como se explica más adelante).
7. Una vez recubierta se coloca en la platina del microscopio electrónico de barrido para ser observada.

3.2.3.2 Técnica de Recubrimiento con Oro

Cuando la muestra es no conductora, como en el caso de yeso, cal y polímero, se recubre la superficie con oro en una evaporadora modelo EMS 550 Sputter Coater, que contiene un blanco de oro y va acoplada a una bomba de vacío. Una vez alcanzado el vacío adecuado según el manual de la evaporadora, se introduce gas (argón) en la campana de vacío a baja presión. En este punto se eleva el voltaje, provocando que los átomos de argón sean ionizados formando un plasma. Los iones de argón son atraídos por el blanco de oro y estos impactan en el blanco desprendiendo átomos de oro, mismos que son depositados sobre la superficie de la muestra proporcionando un espesor de recubrimiento que depende del tiempo de exposición.



Figura 24. Evaporadora de Metal Sputter Coater EMS 550.



Figura 25. Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6060LV

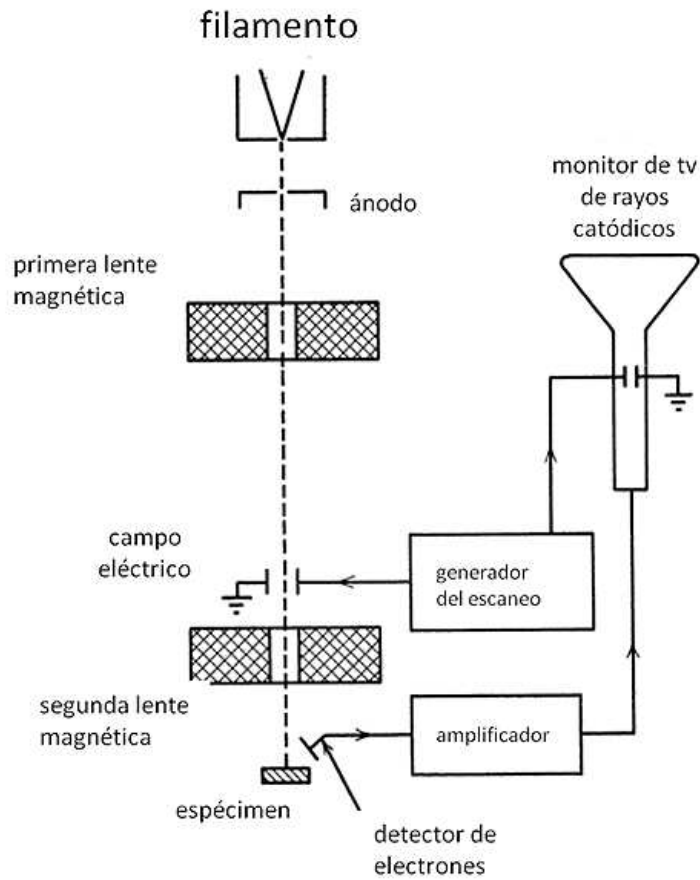


Figura 26. Diagrama esquemático que muestra los componentes fundamentales del microscopio electrónico de barrido.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Conductividad térmica

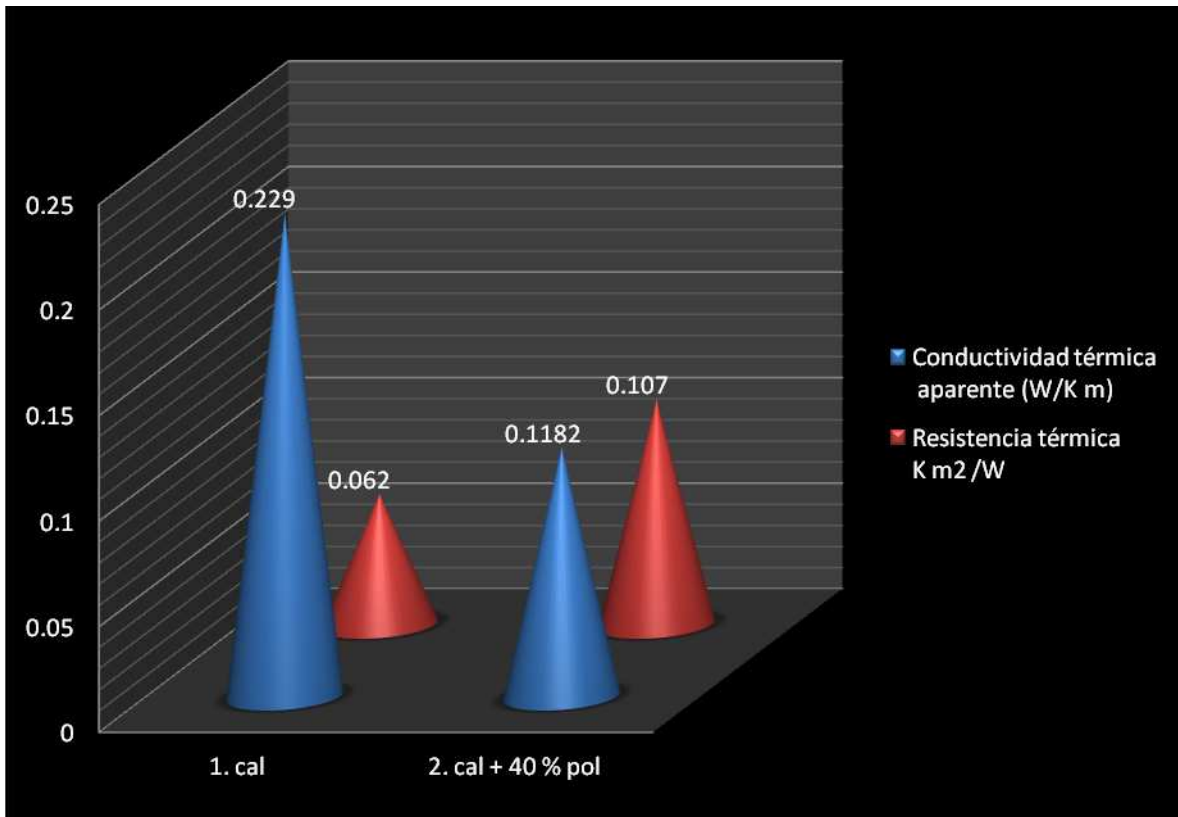
Como se mencionó anteriormente, las pruebas de conductividad térmica permiten evaluar la factibilidad de que el calor fluya a través de cierto objeto y con ello, determinar qué tan rápido puede cambiar la temperatura de un extremo al otro del material conductor.

Los valores obtenidos para la conductividad térmica y resistencia térmica de las formulaciones evaluadas se muestran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de las formulaciones de cal y yeso puros y con 40 % de polímero respectivamente.

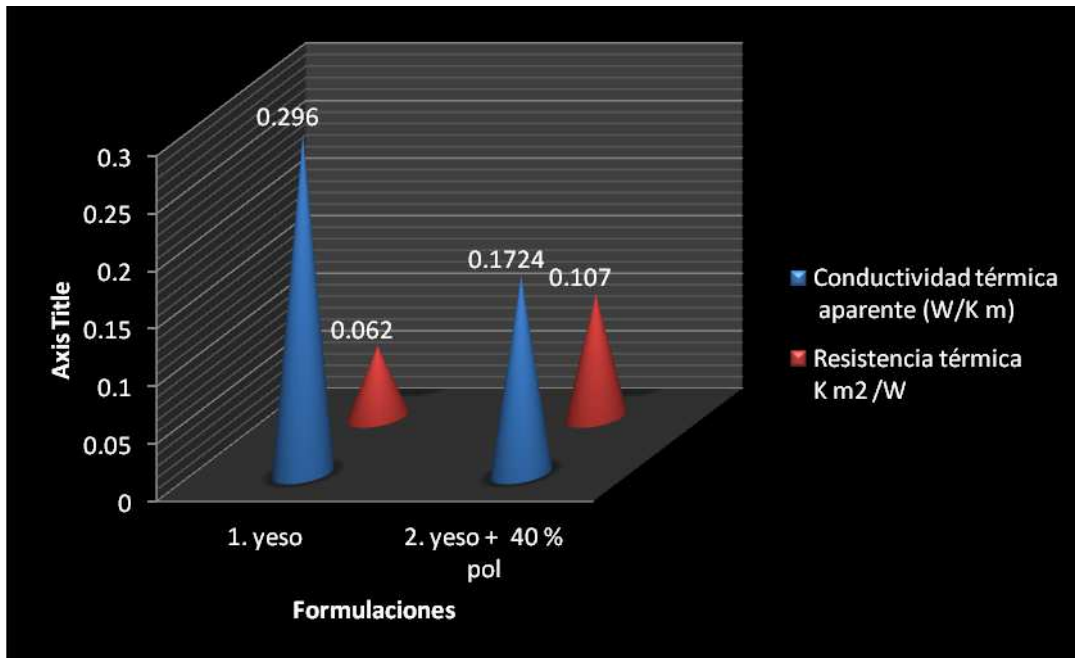
Formulación	Conductividad térmica aparente (W/K m)	% de Reducción	Resistencia térmica $K m^2 /W$	% mejora
1. cal	0.229	48%	0.078	259%
2. cal + 40 % pol.	0.1182		0.202	
1. yeso	0.296	42%	0.062	58%
2. yeso + 40 % pol.	0.1724		0.107	

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar una reducción importante en la conductividad térmica de las muestras de cal y yeso con 40 % de polímero, y un aumento igualmente significativo en la resistencia térmica de las muestras de las mismas formulaciones, lo cual es evidencia de que los materiales compuestos yeso + polímero ó cal + polímero son buenos aislantes térmicos.



Grafica 1. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de muestras de cal y cal + 40% de polímero.

En la grafica 1 se puede observar la disminución del valor de la conductividad térmica de la muestra de cal con 40% de polímero. Esta disminución representa el 48 % del valor de la muestra de cal sin polímero. Así mismo se observa el incremento de la resistencia térmica de la muestra de cal que contiene 40% de polímero. Este incremento representa 259 % de valor de la muestra de cal sin polímero.



Grafica 2. Resultados de conductividad térmica y resistencia térmica de muestras de yeso y yeso + 40% de polímero.

En la grafica 2 se puede observar la disminución de la conductividad térmica de la muestra de yeso con 40% de polímero con referencia a la muestra de yeso, que representa una disminución del 43% de esta característica.

Por otra parte se observa el incremento de la resistencia térmica de la muestra de yeso con 40% de polímero, este incremento representa el 58% del valor tomado como referencia, (muestra de yeso sin polímero).

Tomando en cuenta los resultados aquí expuestos, se puede mencionar que la reducción en la conductividad térmica del yeso y la cal al adicionarle esferas de polímero, le brinda una mayor capacidad de aislamiento térmico, lo que implica que su aplicación como recubrimiento sobre muros en la industria de la construcción, redundará en un ambiente térmicamente más controlado en el interior de las habitaciones, con una potencial reducción en el consumo de energía por aire acondicionado, lo cual no sólo mejora la calidad de la construcción y de vida de sus habitantes, sino que además contribuye al cuidado del ambiente.

4.2 Pruebas de flexión.

Las pruebas de flexión nos permitieron evaluar como se modifica una de las propiedades mecánicas de mayor importancia de los materiales útiles para hacer recubrimientos para muros en construcción. La flexión es la capacidad que tiene un material para deformarse en una dirección perpendicular a lo largo de su longitud y por ende, formar un ángulo de doblado.

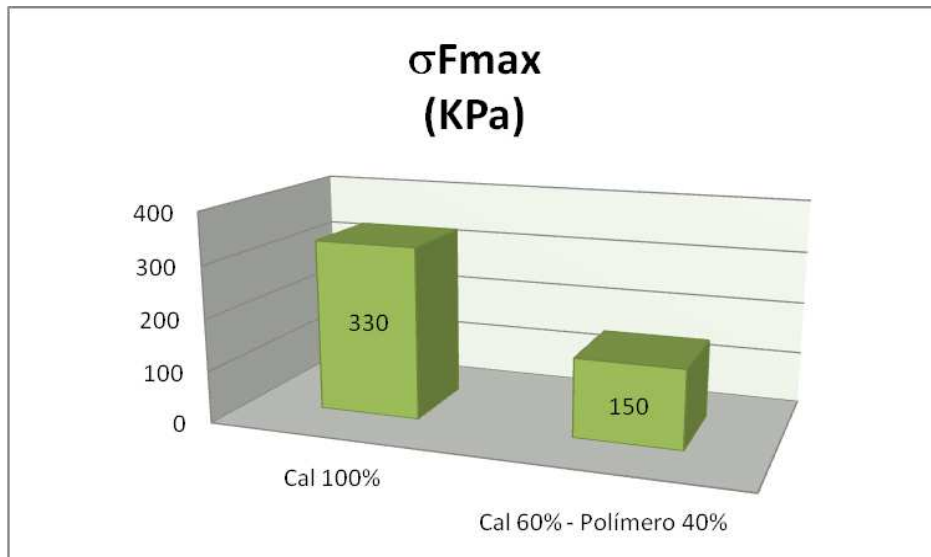
De las pruebas de flexión realizadas a las diferentes formulaciones se obtuvieron los resultados como se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de esfuerzo de flexión máximo de las muestras de cal y yeso puros, y con diferentes contenidos de polímero respectivamente.

Formulación	Composición	σ_{Fmax} (KPa)	% Variación
1	Cal 100%	330	-54.55%
2	Cal 60% - Polímero 40%	150	
3	Yeso 100 %	4000	-25.75%
4	Yeso 60 % - Polímero 40%	2970	
5	Yeso 70 % - Polímero 30%	2700	

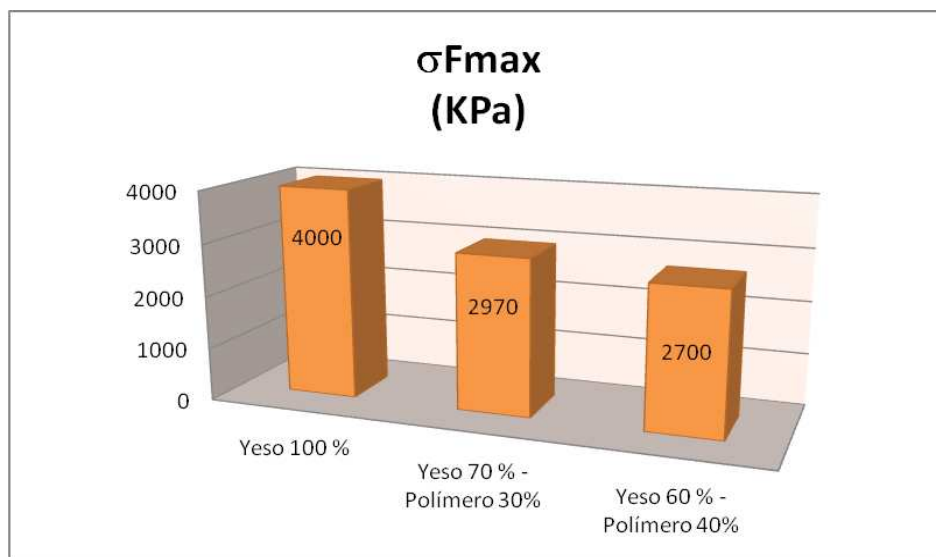
En lo que respecta a las pruebas de flexión con cal, únicamente se evaluó una formulación con polímero dado que al 40% de contenido de polímero, se obtuvo una disminución de alrededor del 50 % de sus propiedades mecánicas con respecto a la cal pura. En el caso del yeso se decidió explorar dos formulaciones para ver la magnitud del impacto la cual no fue tan drástica.

De estos resultados de la tabla 3 podemos observar la disminución de la resistencia a la flexión para cada formulación, en el caso de la cal se ve disminuida en un 54.55 % cuando se le agrego 40 % de polímero a la formulación.



Grafica 3. Esfuerzo de flexión a muestras de cal y cal + 40% de polímero.

En la grafica 3 podemos observar la caída obtenida del esfuerzo de flexión entre las muestras de cal y la de cal con 40 % de polímero.

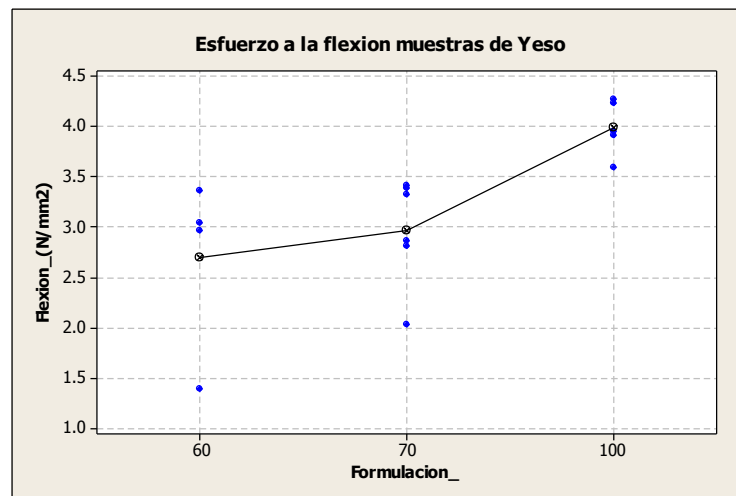


Grafica 4. Esfuerzo de flexión de muestras de yeso y yeso + 30% y 40 % de polímero respectivamente.

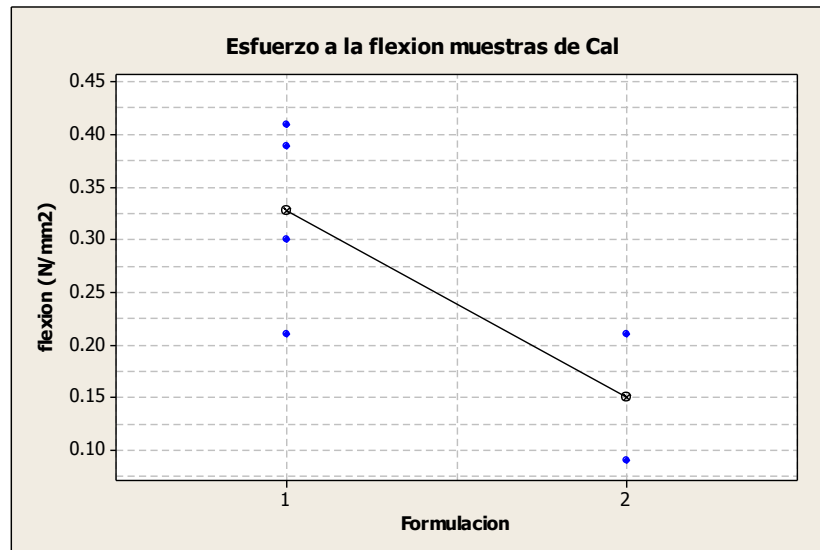
En lo que respecta a las muestras de yeso de acuerdo a los resultados obtenidos, reflejados en la tabla 3, se presenta una disminución en el esfuerzo a la flexión de un 25 y 32 % para las mezclas de cal mas 30 y 40 % de polímero respectivamente. La disminución no es tan drástica en el yeso como en el caso de la cal.

En la grafica 4 se puede observar la tendencia que presenta el esfuerzo de flexión de disminuir conforme aumenta la proporción de polímero en la mezcla aunque la pendiente no es muy pronunciada.

Cabe mencionar, que el abatimiento de las propiedades de flexión en el yeso y la cal al adicionarle polímero, no es tan relevante como lo es la disminución en su respectiva conductividad térmica, ya que el yeso y la cal son materiales de recubrimiento para muros y ésta aplicación no les demanda demasiada resistencia a la flexión, ya que no estarán sometidos a demasiadas fuerzas externas. Es sabido que la aparición de grietas en los muros, se debe principalmente, a fuerzas externas que aparecen cuando la construcción se mueve de manera diferencial por efecto de cambios de volumen del suelo en donde está cimentada. Estos recubrimiento de yeso y cal con polímero pueden estar expuestos a una mayor generación de grietas. En etapas siguientes de ésta investigación se trabajará en mejorar las propiedades de flexión de los recubrimientos.



Gráfica 5. Variación en los valores de esfuerzo en las 3 formulaciones de yeso. Estadísticamente en la grafica 5 podemos observar que la mayor variación está presente en la muestra que tiene yeso + 40 % de polímero los datos obtenidos tienen una mayor dispersión, además de presentar una resistencia a la flexión menor con respecto al yeso puro



Gráfica 6. Variación en los valores de esfuerzo en las 2 formulaciones de cal.

De igual manera en el caso de la cal podemos observar la caída de la flexión en la formulación que contiene 40% de polímero y la variación de los resultados obtenidos de la evaluación de las diferentes muestras, en este caso existe una gran variación en formulación 1 de cal pura. Los valores obtenidos tienen una mayor dispersión comparado con los valores obtenidos en la muestra de cal + 40% de polímero.

4.3 Caracterización en MEB.

Con la ayuda de la microscopía electrónica de barrido se podrá observar la forma y organización estructural que presentan los componentes del material compuesto y la interacción entre ellos que da origen a la adhesión. Se analizaron primeramente las muestras de cal y yeso puros y posteriormente las mezclas de estos minerales con contenido de 40% de polímero para el caso de la cal y de 30 y 40% de polímero para el yeso.

En la figura 27 se observa la morfología de cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y de CaCO_3 . Los cristales de hidróxido de calcio son los de tonalidad de gris más clara en la imagen y se puede observar que son cristales pequeños con dimensiones menores a un micrómetro, los cuales se aglomeran para formar cúmulos de entre

5 y 10 μm . Tienen bordes poco definidos y sin una morfología en particular. En la imagen también es posible observar cristales de carbonato de calcio, que tienen una tonalidad de gris más oscura. Estos cristales tienen morfologías más definidas de placa y barras con sección transversal hexagonal y con bordes bien definidos. Estos cristales son de mayor tamaño en comparación con los de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El carbonato de calcio se forma de manera natural de la reacción del hidróxido de calcio con el dióxido de carbono (CO_2) del ambiente.

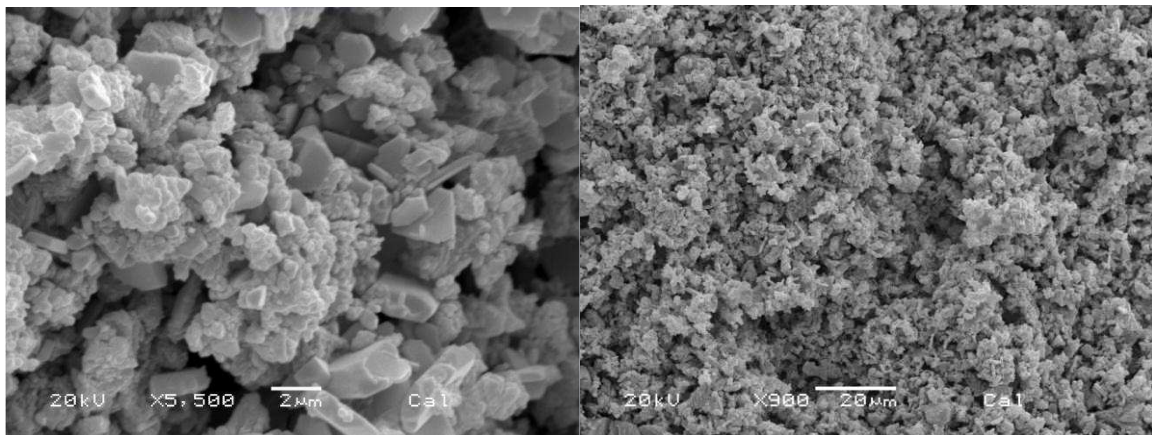


Figura 27. Muestra de Cal pura en donde se observa la morfología y tamaño de los cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaCO_3

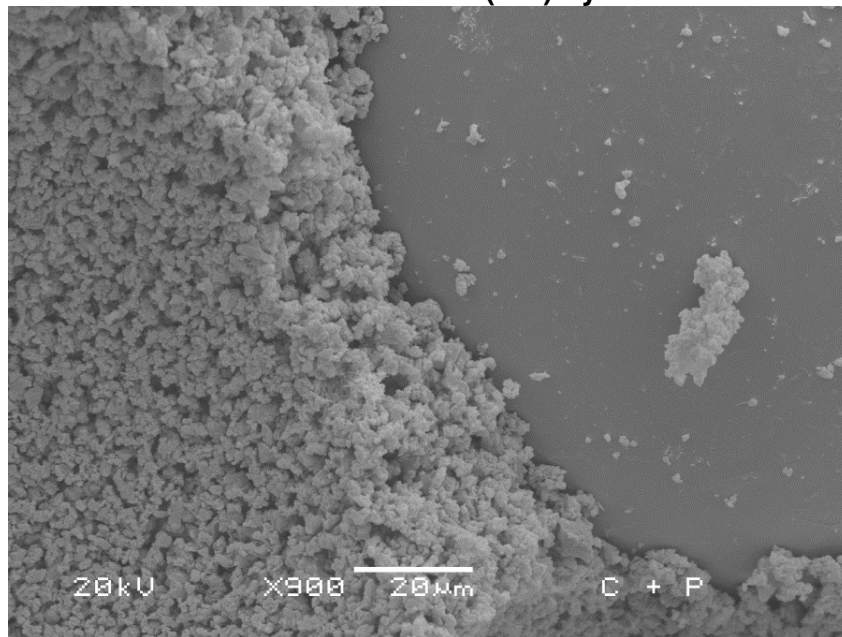


Figura 28. Muestra de Cal+ 40% polímero a una resolución de 900X

En la figura 28 se observa un fragmento de una esfera polimérica (ángulo superior derecho) y algunos cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Se puede observar una pobre interacción química entre estos componentes del material compuesto. Esta pobre interacción genera una mala adhesión de las esferas a la matriz continua de cal. En la figura 29 se muestra una imagen en la cual se observa claramente una esfera polimérica que aún se encuentra inmersa en la matriz de cal, y tanto a su lado izquierdo y por debajo de ella, se ve dos huecos circulares producto de la separación de dos esferas. Esta adherencia deficiente es una de las causas del decaimiento de las propiedades de flexión que presentan estos materiales, pero no tiene un impacto adverso en las propiedades de conducción, ya que la reducción de la conductividad térmica se ve beneficiada por la presencia de espacios llenos de aire.

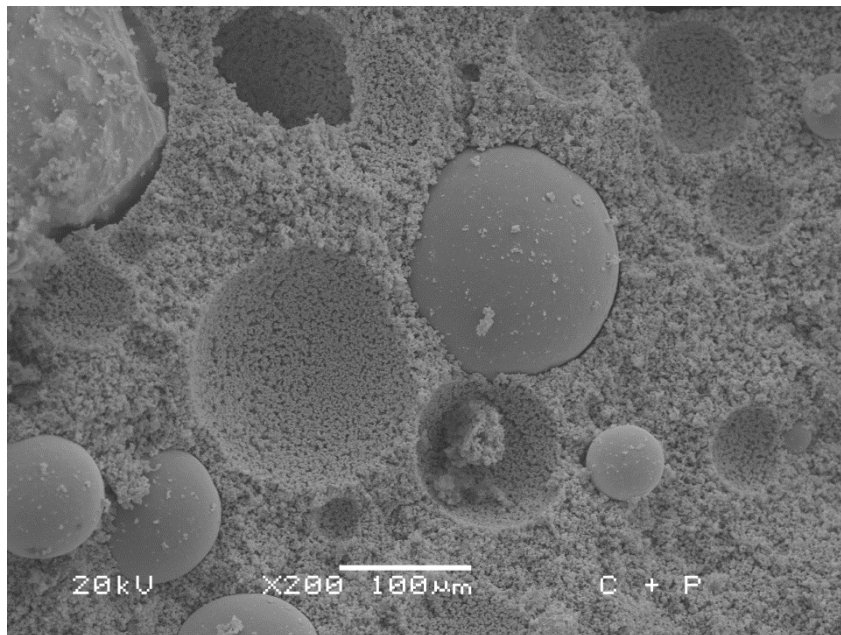


Figura 29. Microfotografía en donde se muestra la separación de algunas esferas poliméricas de la matriz de cal, dejando huecos en su lugar. Muestra de cal + 40% polímero.

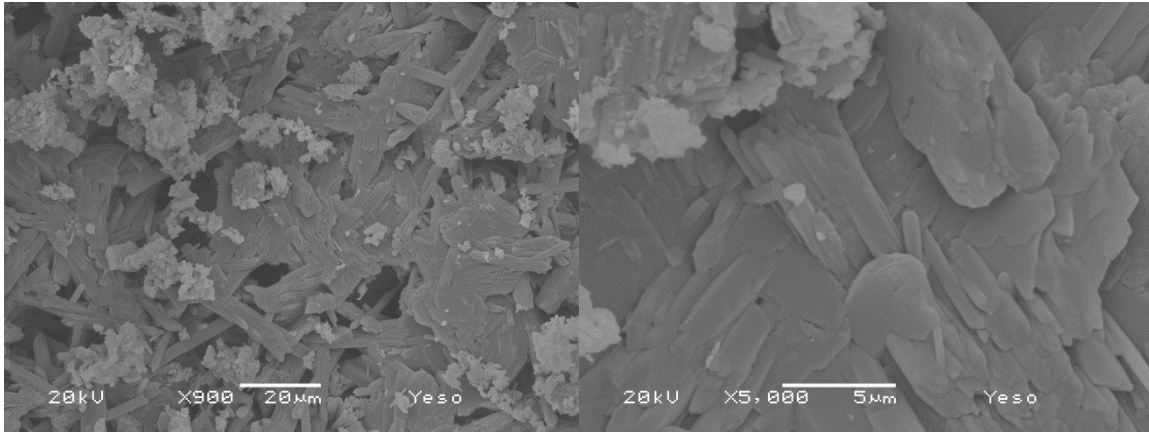


Figura 30. Muestra de Yeso puro en donde se observa su morfología y dimensiones cristalinas.

Por su parte, en la figura 30 se muestran imágenes del yeso puro, en ella se observan cristales grandes de más de $20\ \mu\text{m}$ con forma de placas en su mayor parte y algunos otros cristales con forma de varilla. Las morfologías reveladas tienen bordes bien definidos y puntas redondeadas, la aparición de estas formas se deben a crecimientos cristalinos preferenciales de la estructura cristalina ortorrómbica del sulfato de calcio. La porosidad en el yeso es notablemente mayor que aquella presente en la cal. En la imagen también es posible ver cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presentes en el yeso, el cual se adiciona en bajas cantidades como componente de la mezcla comercial.

De manera similar a las mezclas de cal y polímero, el yeso no mostró suficiente afinidad química con las esferas de polímero y por ello, éstas sufrieron separación de la matriz continua de yeso. En las figuras 31 y 32 se observa parte de la superficie de esferas poliméricas y sobre ellas, algunos cristales de yeso presumiblemente sobrepuestos. Estas imágenes corresponden a la mezcla de yeso más 30% de polímero.

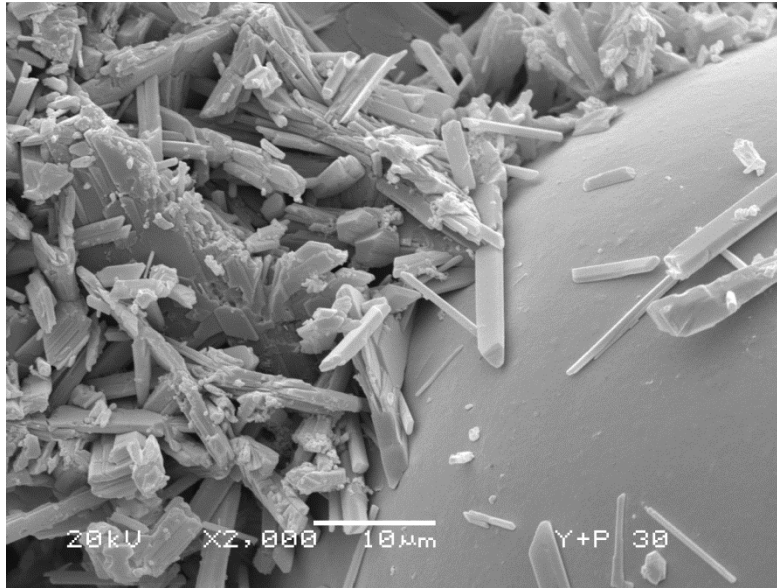


Figura 31. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 2000X

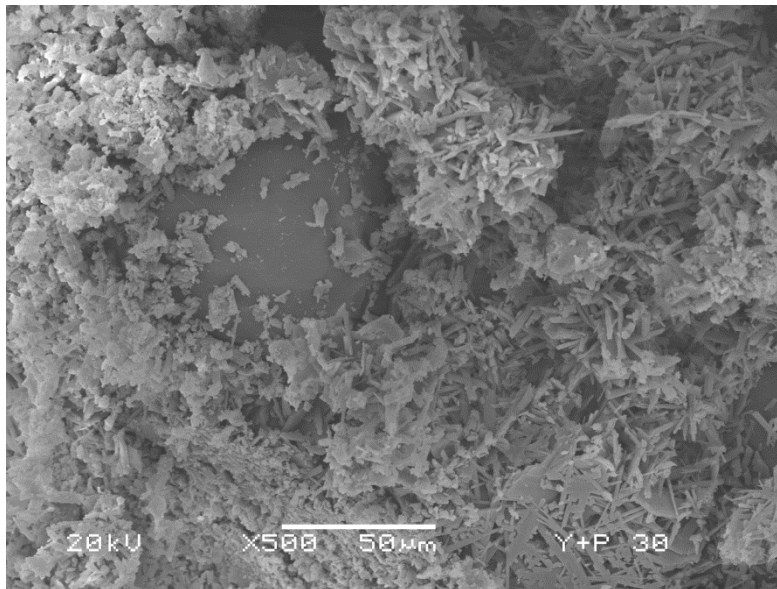


Figura 32. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 500X



Figura 22. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 900X

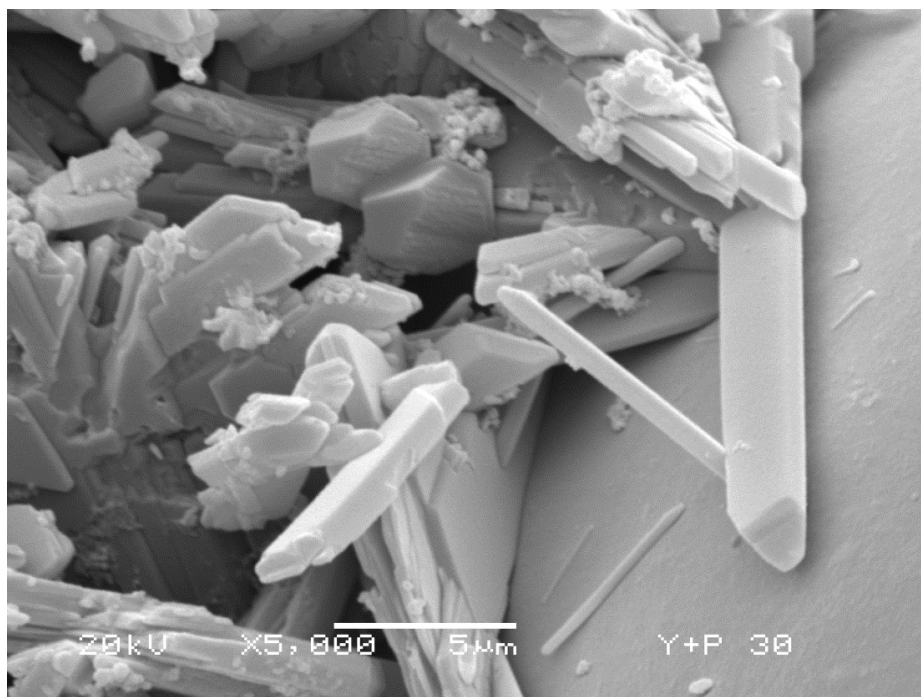


Figura 33. Muestra de Yeso + 30% de polímero a una resolución de 5000X

4.4 Cálculo de la resistencia térmica de muros y techo.

Con la información obtenida en punto 6.1 podemos calcular la resistencia térmica de la envolvente (muros y techo) de una vivienda típica, considerando las conductividades térmicas obtenidas de las formulaciones evaluadas, de los materiales puros (cal y yeso) y de las formulaciones reforzadas con el polímero.

De acuerdo el Código de edificación de vivienda se debe cuidar el aislamiento de muros y techos con el objeto de disminuir el consumo de energía eléctrica y el confort térmico, la capacidad de aislamiento depende de la resistencia, de los materiales que componen el sistema constructivo, a que pase el calor y se obtiene mediante el producto de su espesor por la resistividad del material:



Figura 34. Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica (Código de edificación de vivienda, 2007)

Donde

b. es el espesor del material en metros

k. es la conductividad térmica del material

R. resistencia térmica, tiene las unidades ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$).

La resistencia total de un muro homogéneo es la suma de las resistencias térmicas parciales de cada capa. Si un cuerpo consta de varias capas de materiales distintos, como es nuestro caso, su resistencia total será la suma de las resistencias individuales de las capas como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \dots + \frac{b_n}{k_n}$$

Figura 35. Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica de la envolvente de varios componentes. (CEV, 2007)

Donde:

- h_i es la conductancia superficial interior, en W/m^2K .
Su valores
8,1 para superficies verticales,
9,4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo),
6,6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso).
- h_e es la conductancia superficial exterior, y es igual a $13 W/m^2K$;
- b es el espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio en metros.
- n es el número de capas que forman la porción de la envolvente de la vivienda.

Primero debemos identificar las conductividades térmicas para cada componente de la envolvente, estas las obtenemos de la norma oficial mexicana NOM-008-ENER-2011 y son las siguientes:

Tabla 5. Datos de conductividad térmica los componentes típicos de muros y techo (NOM-008-ENER-2011).

Muros		
Material	Espesor (m)	k (W/K m)
Aplanado de mortero de cal al exterior	0.015	0.229*
Bloque de concreto con dos huecos	0.150	1.11
Aplanado de yeso al interior	0.015	0.296*

Techo		
Material	Espesor (m)	k (W/K m)
Impermeabilizante	0.006	0.17
Concreto simple al exterior	0.040	1.65
Relleno de arena seca para nivelación exterior	0.060	2
Losa de concreto (concreto armado)	0.100	2
Aplanado de yeso al interior	0.015	0.296*

*datos obtenidos experimentalmente

Sustituyendo los valores en la ecuación de la figura 35 para el cálculo la resistencia correspondiente a los muros se obtiene lo siguiente

$$R_{muros} = \frac{1}{8.1} + \frac{1}{13} + \frac{0.015}{0.229} + \frac{0.150}{1.11} + \frac{0.015}{0.296} = 0.452 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Siguiendo la misma ecuación calculamos la resistencia térmica del techo

$$R_{techo} = \frac{1}{6.6} + \frac{1}{13} + \frac{0.006}{0.17} + \frac{0.040}{1.65} + \frac{0.060}{2} + \frac{0.100}{2} + \frac{0.015}{0.296} = 0.419 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Una vez calculados los valores de la resistencia térmica del techo y muros para los materiales (yeso y cal) sin polímero, ahora calculamos la resistencia térmica de techo y muros para las formulaciones con refuerzo de polímero en la cal y el yeso.

De igual forma se recopilaron los datos de conductividad térmica para los componentes de techo y muros.

Tabla 6. Datos de conductividad térmica los componentes típicos de muros y techo. Formulaciones con refuerzo de polímero (NOM-008-ENER-1999).

Muros		
Material	Espesor (m)	k (W/K m)
Aplanado de mortero de cal + 40% de polímero al exterior	0.015	0.118*
Bloque de concreto con dos huecos	0.150	1.11
Aplanado de mortero de yeso + 40 % de polímero al interior	0.015	0.172*

Techo		
Material	Espesor (m)	k (W/K m)
Impermeabilizante	0.006	0.17
Concreto simple al exterior	0.040	1.65
Relleno de arena seca para nivelación exterior	0.060	2
Losa de concreto (concreto armado)	0.100	2
Aplanado de mortero de yeso + 40 % de polímero al interior	0.015	0.172*

*datos obtenidos experimentalmente

Aplicando la misma fórmula en muros y techo se obtienen los siguientes resultados

$$R_{\text{muros (polímero)}} = 0.549 \text{ m}^2\text{K/W}$$

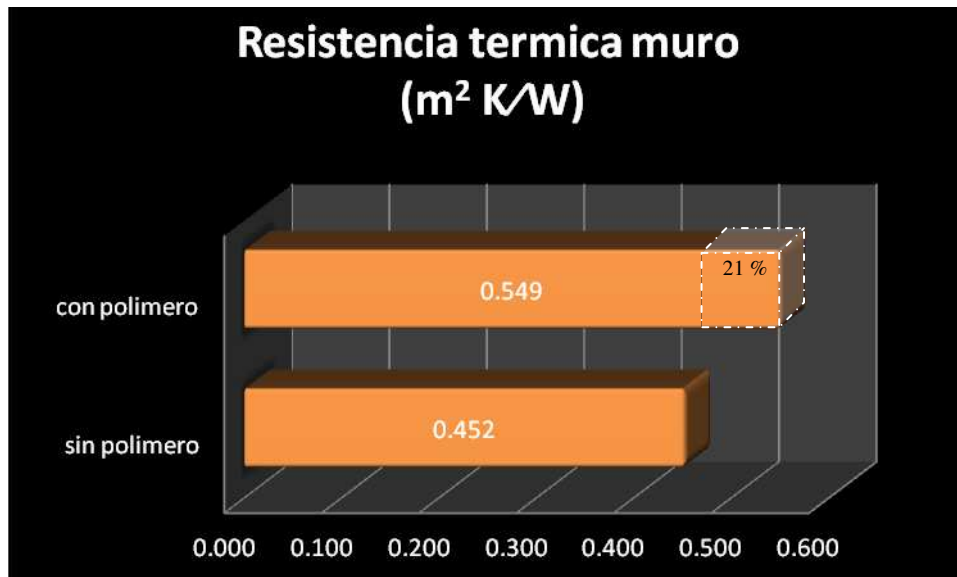
$$R_{\text{techo (polímero)}} = 0.455 \text{ m}^2\text{K/W}$$

De estos resultados obtenemos la siguiente tabla comparativa donde se puede observar el incremento en la resistencia térmica en muros y techo de las formulaciones con refuerzo de polímero. Ver tabla 7.

Tabla 7. Resistencia térmica de muros y techo con las 2 formulaciones de cal y yeso (con polímero y sin polímero)

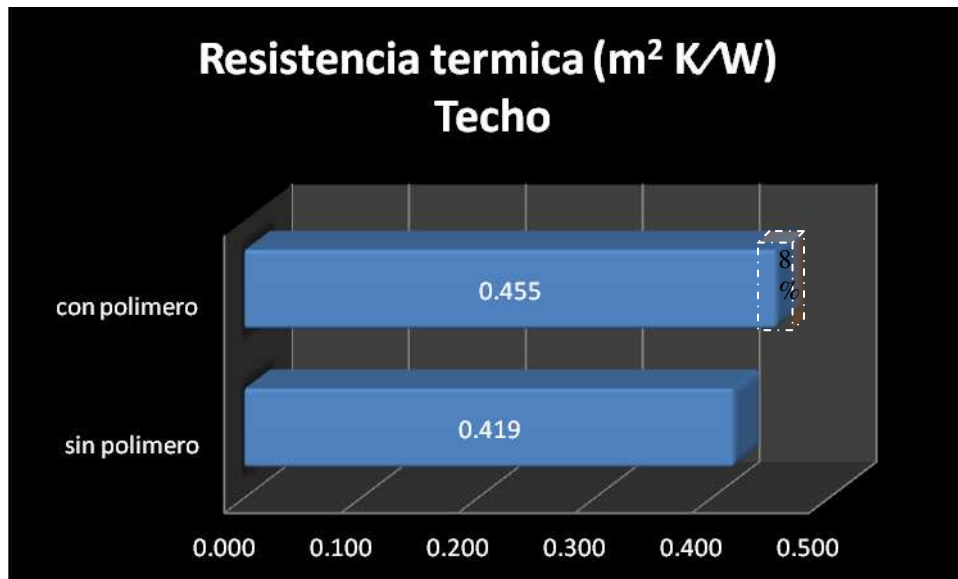
Configuración envolvente	Resistencia térmica ($m^2 K/W$)	
	Muro	Techo
sin polímero	0.452	0.419
con polímero	0.549	0.455

Analizando esta información se puede observar en la grafica 7 un incremento de la resistencia térmica del sistema en el que se incluyo polímero como refuerzo en la configuración del muro (formulación de yeso y cal con 40% de polímero), debido al aplanado externo de cal + polímero y al aplanado interno de yeso + polímero; este incremento representa el 21 % del valor inicial.



Grafica 7. Resistencia térmica del muro en las dos configuraciones, con polímero y sin polímero, con aplanado de cal en el exterior y de yeso en el interior.

En lo que respecta al techo, la contribución es únicamente del recubrimiento interno de yeso + 40 % de polímero, por lo que el aumento en la resistencia térmica es solamente del 8% del valor inicial, como se puede observar en la grafica 8.



Grafica 8. Resistencia térmica del techo en las dos configuraciones, con polímero y sin polímero, con aplanado de yeso en el interior.

En el caso de la envolvente de muros tenemos un ahorro del 21%, comparado con un ahorro del 8 % de la envolvente del techo, esta diferencia es debida principalmente a que en los muros estamos considerando en la parte exterior la formulación de cal + 40 % de polímero y en la parte interna de la envolvente la formulación de yeso + 40% de polímero, lo que representa una doble contribución para la resistencia térmica comparada con la envolvente del techo que solo considera la formulación de yeso + 40% de polímero en la parte interna.

4.5 Calculo del calor en el sistema y consumo energético de la vivienda.

Una vez que hemos calculado la resistencia térmica de la envolvente, techo y muros, de los dos sistemas (yeso y cal puros, y yeso y cal + 40% de polímero)

podemos calcular el calor intercambiado del interior y el exterior de la vivienda. Esto lo haremos a partir de las ecuaciones de transferencia de calor (figura 5) y de la ecuación para el cálculo de la resistencia térmica (Figura 25). Despejando Q se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_n (W) = \frac{Area(m^2) \times \Delta T (K)}{R (m^2 K/W)}$$

Figura 36. Ecuación para el cálculo del calor de la envolvente, muros y techo de la vivienda.

Q_n representa el calor transferido, en watts, de uno de los elementos del la envolvente, muros o techo, dado que la resistencia térmica y área del techo son diferentes a la de los muros; por lo tanto será necesario aplicar la ecuación de la figura 36 para muros y para techos considerando su resistencia térmica y áreas correspondientes y el calor final será el resultante de la sumatoria de ambos.

Para el cálculo del calor es necesario recopilar la información requerida en cada caso, en la tabla 8 se muestra la información correspondiente para poder realizar los cálculos.

Tabla 8. Datos para el cálculo del calor transferido en la envolvente, muros y techo.

Envolvente	Área (m ²)	T exterior (°C)		T interior (°C)	
		invierno	verano	invierno	Verano
Techo	61.239	14	29.8	22 +/- 2	24.5 +/- 1.5
Muros	110.640				

Las áreas de muros y techo fueron extraídas del plano de construcción tipo de una vivienda unifamiliar modelo UF-58 (ver anexos). Las temperaturas exteriores máximas y mínimas en verano e invierno fueron obtenidas del reporte del centro meteorológico nacional, y son el promedio a nivel nacional del año 2011.

Las temperatura interiores en invierno y verano son las indicadas en la norma ISO 7730 - *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico*. Con esta información y aplicando la ecuación para el cálculo del calor (Figura 26), se obtuvieron los siguientes resultados para los sistemas puros y con refuerzo de polímero en la envolvente.

Tabla 9. Calor transferido en la envolvente con polímero y sin polímero y % de ahorro.

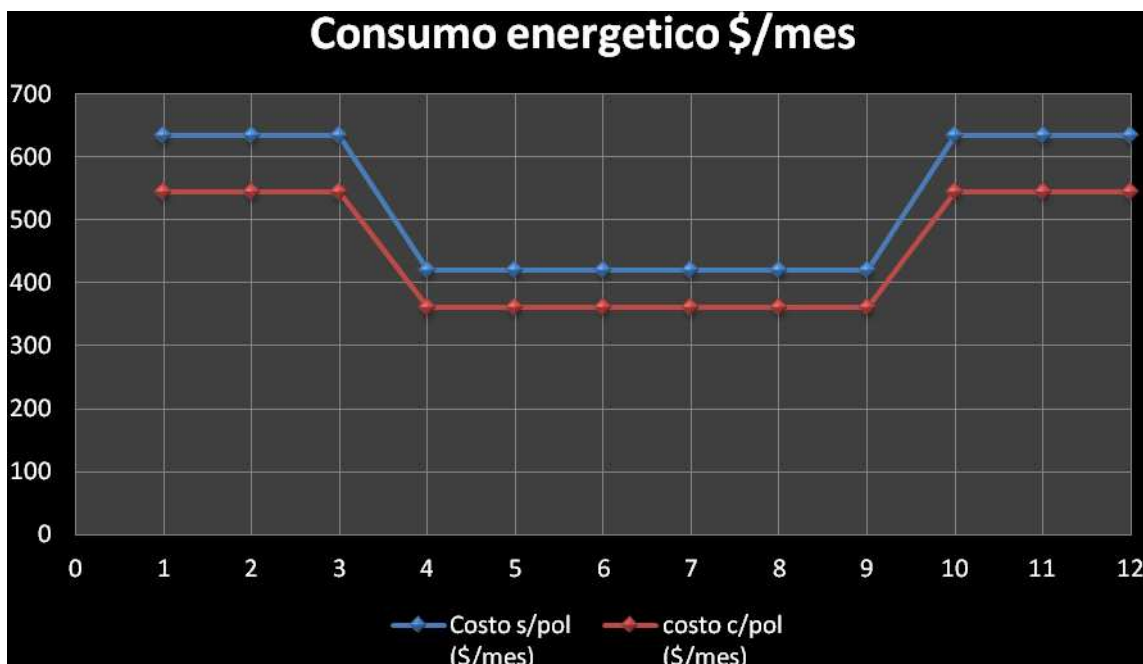
	Q (W) sin polímero		Q (W) con polímero	
	invierno	Verano	invierno	verano
Envolvente	3129.770	2073.473	2687.757	1780.639
Ahorro			14.12%	14.12%

Es importante mencionar que en estos cálculos se consideraron básicamente 2 estaciones del año, verano e invierno. De acuerdo al cálculo del calor de los sistemas puros y con polímero de la envolvente (techo y muros) se tiene un ahorro del 14% en la transferencia de energía, si quisiéramos cuantificar este ahorro en dinero tendríamos que considerar el costo de generar este calor mediante algún equipo de enfriamiento o calentamiento (calentador eléctrico, clima, ventilador, cobijas eléctricas, calentadores de agua eléctricos, etc). De esta forma se vería impactado en la facturación del consumo de energía eléctrica, y si consideramos una tiempo de operación del sistema de 9 horas, y la tarifa vigente de CFE (0.751 \$/KWh), podremos calcular el impacto económico por cada Kilowatt-hora consumido por los dos sistemas.

Tabla 10. Consumo energético de la envolvente con polímero y sin polímero y su costo mensual

Sistema		Consumo energético (KW-h/mes)	costo (\$/mes)
sin polímero	verano	559.838	420.438
	invierno	845.038	634.624
con polímero	verano	480.773	361.060
	invierno	725.694	544.997

El ahorro en la facturación por el uso de polímero en la formulación de la envolvente sigue representando el 14 %. Dado que utilizamos el mismo factor de costo para ambos sistemas (sin polímero y con polímero en la envolvente). Es importante comentar que el consumo energético, y por ende el costo, en los meses de invierno es 1.5 veces mayor al consumo en verano en ambos casos. Esta tendencia la podemos observar en la grafica 8.



Grafica 9. Costo (\$/mes) de energía necesaria para la envolvente sin polímero y con polímero.

En la grafica 9 podemos observar la diferencia del costo del consumo energético para cada sistema en la envolvente, sin polímero y con polímero, además los meses en los que existe mayor impacto en el costo. Del mes 4 al mes 9 (verano) se tiene un menor consumo de energía en ambos sistemas, sin polímero y con polímero, comparado con la etapa de invierno; y en los meses 1 – 3 y 10 – 12, correspondientes al invierno, se tiene un consumo mayor que es igual a 1.5 veces el consumo de verano, esto para ambos sistemas con y sin polímero. Comparando el consumo de energía y la facturación mensual de los sistemas sin polímero y con polímero en la envolvente tenemos un ahorro anual de 894 \$/año, este dato lo usaremos más adelante para calcular el tiempo del retorno de la inversión.

Por otra parte es necesario considerar el costo que implica el uso de las formulaciones con polímero y sin polímero (inversión inicial). Si consideramos los costos de las formulaciones propuestas podremos calcular el costo de la inversión inicial en la aplicación de la envolvente de la vivienda y en base al ahorro energético antes mencionado, podemos estimar el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Lo primero es calcular el costo de cada formulación de cal y de yeso con 40% de polímero en la formulación.

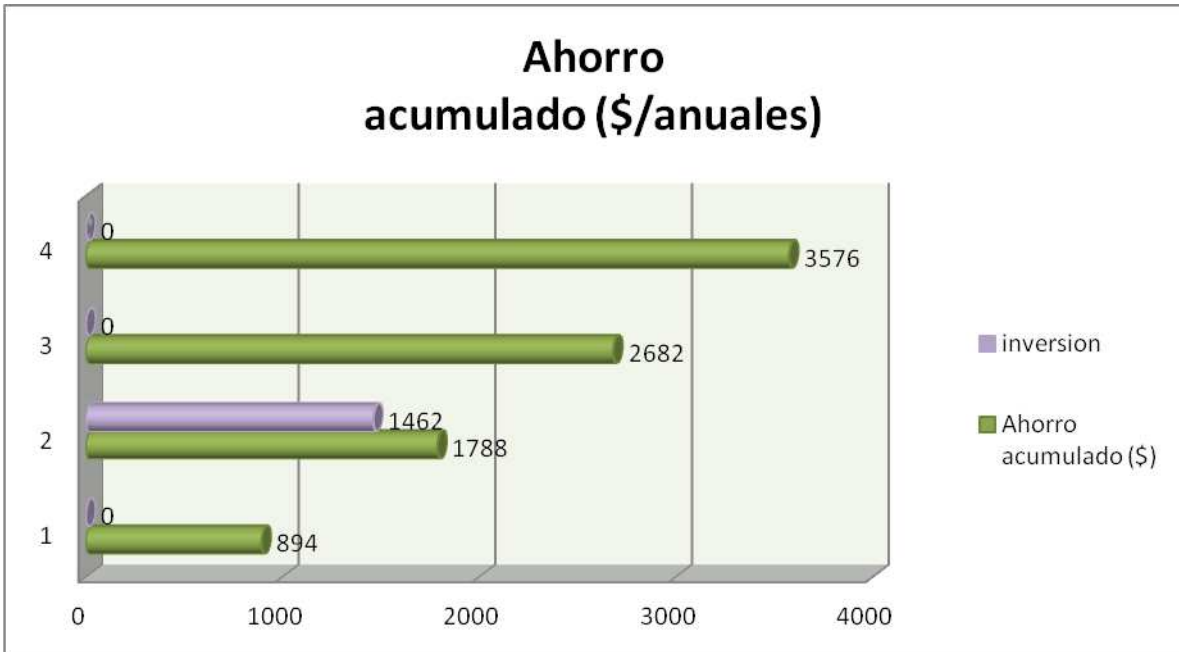
Tabla 11. Datos para el cálculo del costo de las formulaciones con y sin polímero.

Material	Precio \$/Kg	Rendimiento (Kg/m ²)	Costo formula (\$/m ²)	Costo envolvente (\$/casa)
Yeso	1.4	12.75	20.959	3602.48
Cal	0.75	7.3	7.091	202.85
Polímero	51.96			3805.333

En cada formulación fue necesario convertir las proporciones de los componentes de volumen a peso, esto se hizo usando las densidades de los materiales. Al final se obtuvo que el polímero representa un 2 % y 4% en peso para la formulación de yeso y cal respectivamente. Además se considero el rendimiento teórico indicado por el fabricante para cada material. Únicamente se consideran los rendimientos de los materiales predominantes en cada formulación, el yeso y la cal, respectivamente. Para el cálculo de la formulación del yeso mas polímero se considero el área del techo y de la envolvente (la parte interna), de acuerdo a la configuración mencionada en la tabla 5. Para la formulación de Cal + polímero solo se considero el área de los muros de la fachada y patio trasero.

Con esto se obtiene un total de 3,805 pesos, que es el costo de las formulaciones de yeso + polímero y cal + polímero aplicado en una superficie de 171.88 m², correspondiente a la envolvente de muros y techo. Por otra parte si usáramos solamente Yeso y Cal en la envolvente requerimos de 2,342 pesos para la misma área, lo que nos da una diferencia de 1,462 pesos. Esto sería el costo adicional por incluir el polímero en las formulaciones de la envolvente. Esta diferencia es de un 38 % adicional al costo de la envolvente de la vivienda sin refuerzo de polímero.

Una vez que conocemos el costo de las formulaciones con polímero y sin polímero para la vivienda, y tenemos el dato del ahorro anual derivado de su uso podemos estimar el tiempo en el que se estaría recuperando esta inversión. Esto lo podemos observar en la grafica 9.



Grafica 10. Ahorro anual acumulado en consumo de energía para formulación con polímero en la envolvente.

En la grafica 10 podemos observar que en el segundo año estaríamos cubriendo el costo de 1,462 pesos resultado de la diferencia entre el costo de la envolvente de cal y yeso sin polímero y el costo de las formulaciones de cal + polímero y Yeso + polímero en la envolvente.

El costo adicional derivado del uso del polímero en la envolvente sería entonces de 1,462 pesos y se recuperaría esta inversión en 1.63 años como consecuencia en ahorro de consumo de energía eléctrica.

V. CONCLUSIONES.

1. Las formulaciones con refuerzo de polímero presentaron una disminución en la conductividad térmica del 48 % para la formulación de cal + 40% de polímero y 42 % para la formulación de yeso + 40% de polímero. Esto representa una atractiva mejora en las propiedades de aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda económica. Con esto se está cumpliendo uno de los objetivos particulares, al determinar la formulación de yeso/cal reforzado con polímero que tuviera una reducción en la conductividad térmica de al menos el 15%.
2. Las propiedades mecánicas de las formulaciones con polímero, si bien disminuyen en un 54 % para formulación de cal + polímero y 25 % para la formulación de yeso + polímero, no es un factor determinante para afirmar que estas formulaciones no sean adecuadas para la aplicación propuesta, dado que este recubrimiento no están sujeto a esfuerzos constantes o de una gran magnitud.
3. La resistencia térmica de la envolvente (muros y techo) con las formulaciones de cal + 40 % de polímero en la parte externa de muros y yeso + 40 % de polímero en la parte interna de muros y techo, aumenta en un 21 % para los muros y 8 % para el techo. Este aumento de la resistencia térmica de la envolvente se verá reflejado en el consumo de energía eléctrica con un ahorro del 14%.
4. El tener una mayor resistencia térmica en la envolvente no solo nos va a representar un beneficio económico, si no que además nos va a permitir alcanzar un confort térmico favoreciendo la calidad de vida para los habitantes, Tal y como está considerado en el objetivo general del presente trabajo de investigación.

5. El uso de las formulaciones de yeso + 40 % de polímero y cal + 40 % de polímero no representa un gran costo, ya que únicamente se tendría que invertir 1,462 pesos adicionales para una vivienda de 90 m² de terreno y 57 m² de construcción. Esta inversión se estaría recuperando en 1.64 años derivado de un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

LITERATURA CITADA

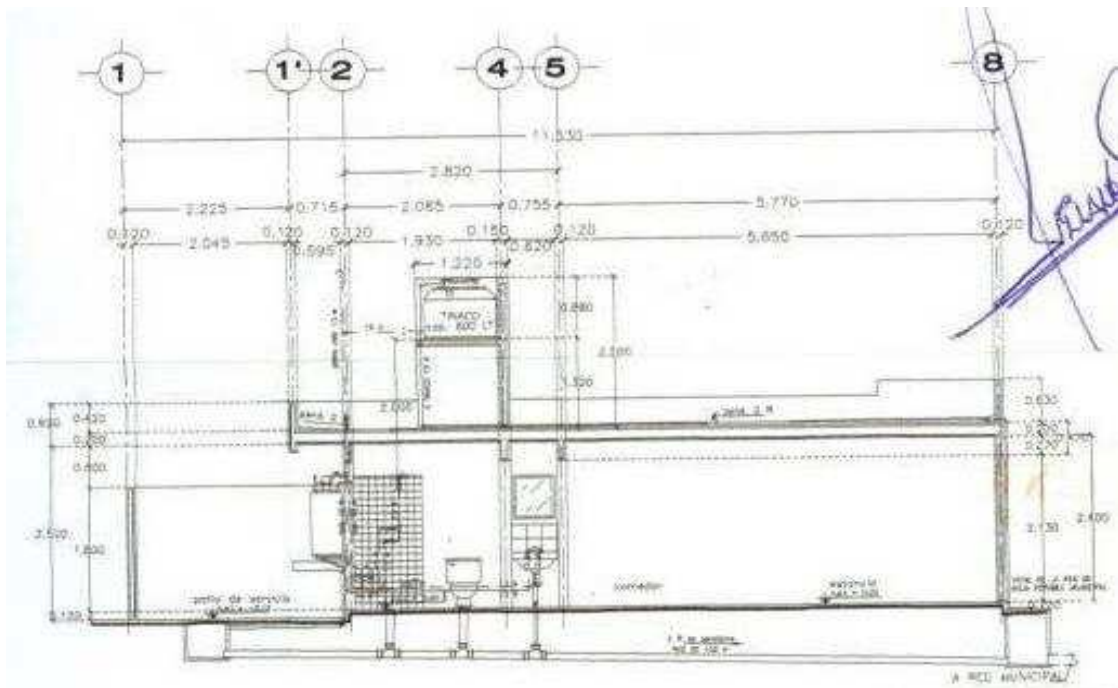
- Arango, G. (2003). La calidad de la vivienda. Medellín. Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - Sede Medellín.
- Brindis, D. E. (2002). PROPIEDADES BÁSICAS DE LOS POLÍMEROS. Mexico: CEDETEQ.
- Comisión Nacional de Vivienda. (2007). Código de Edificación de Vivienda. D.F., México.
- Corral, J. T. (2004). Patología de la Construcción: Grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. Ciencia y Sociedad, 72-114.
- COTERA, M. G. (2003). Las Deformaciones del Concreto y los Modelos Reológicos.
- Estevez Gonzales Miriam Rocío. (2002). Síntesis y Caracterización de un Recubrimiento Híbrido a base de PMMA-SiO₂ Resistente a la Corrosión y Abrasión. Universidad Autónoma de Querétaro, FI. México
- Hermida, É. B. (2008). Guía Didáctica - Materiales Poliméricos. Buenos Aires: Centro Nacional de Educación Tecnológica.
- Hernández, Z. L. (2002). Lineamientos teóricos de diseño arquitectónico y tecnológico para el diseño de viviendas unifamiliares. Propuesta teórica de confort térmico. Venezuela.
- Holman, J. (1999). Transferencia de Calor. España: Mc Graw Hill.
- INFONAVIT. (2007). Índice de Calidad de Vivienda. D.F., México.
- ISO 7730 - Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico.
- Lira, L. (2006). EFECTO SOBRE EL VALOR MEDIDO DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UN MATERIAL POR EL MATERIAL UTILIZADO EN LA GUARDA, EN UN APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA. Querétaro: Centro Nacional de Metrología.
- Lira, L. (2008). Medición de la Conductividad Térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones. Querétaro: Centro Nacional de Metrología.
- López, R., & Morales, J. R. (2000). Equipo para evaluar en forma experimental el coeficiente de conductividad térmica de los materiales de construcción. Revista Mexicana de Física, 148 - 152.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltorio de edificios para uso habitacional.
- Olmos, F., Mario, S., & Gomez, A. (2003). Calidad en los materiales. Argentina.
- P. Groover, M. (1996). Fundamentos de Manufactura Moderna, materiales procesos y sistemas. Mexico: Prentice Hall.
- Peter Barlow. (1993). Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Hormigón.
- Ramírez, M. B. (2009). Uso de la cal en edificaciones de tierra, Seminario Taller de Restauración de Pintura Mural. Jalisco: Escuela de Conservación y Restauración de Occidente.

Ruiz, M. G., & Frías, H. (2011). Caracterización de un nuevo recubrimiento con aplicaciones en la construcción, adicionado con micro esferas poliméricas. Queretaro: UAQ-Facultad de Ingeniería

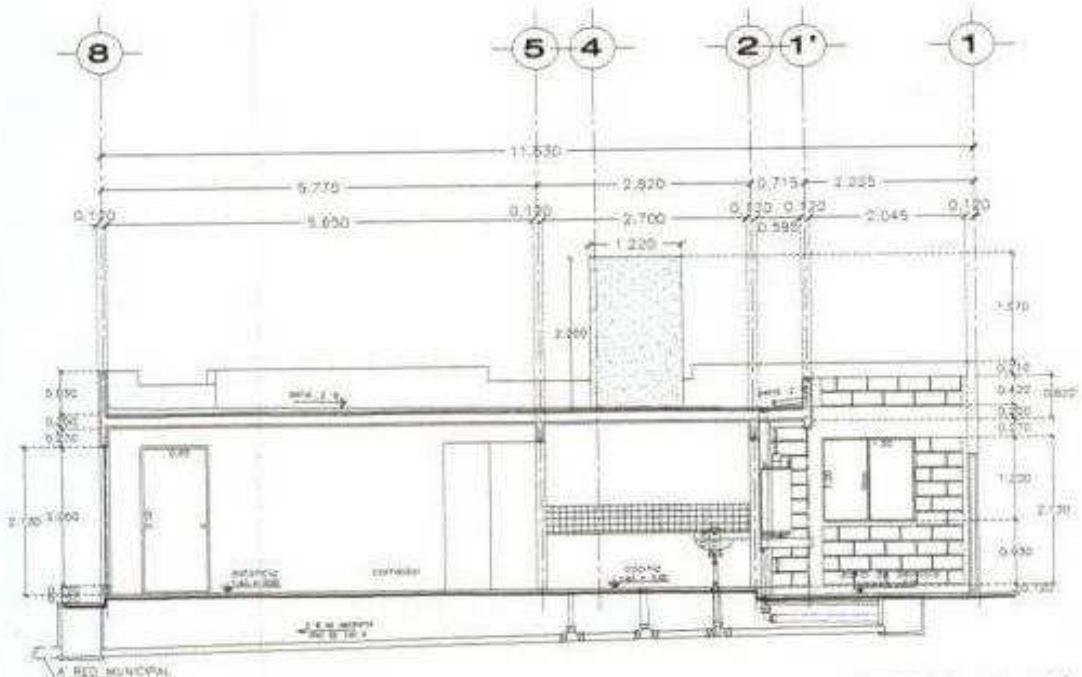
Sánchez, M. M., & Centeno Lara, R. (2002). Desarrollo de un prototipo para la caracterización térmica de los materiales de construcción regionales. revista académica de la facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán , 13 - 22.

ANEXOS

Anexo C - Plano de la vivienda tipo UF-58 vista lateral



CORTE A-A'
SIN ESCALA



CORTE B-B'
SIN ESCALA