



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN TÉRMICA ACÚSTICA Y MECÁNICA DE UN
MORTERO CELULAR ECOLÓGICO.**

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ING. HÉCTOR MAURICIO GODOY LARA.

DIRIGIDO POR:

Dr. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA

C.U. QUERÉTARO, QRO. DICIEMBRE 2014



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en ciencias – construcción

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA ACÚSTICA Y MECÁNICA DE UN MORTERO CELULAR ECOLÓGICO.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en ciencias

Presenta:

Héctor Mauricio Godoy Lara

Dirigido por:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

SINODALES

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Presidente

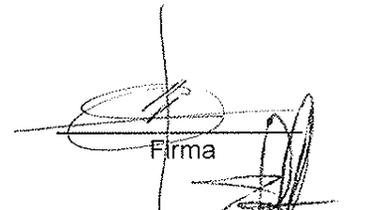
Dr. Jaime Horta Rangel
Secretario

Dra. Teresa López Lara
Vocal

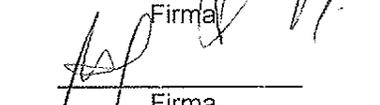
Dr. Mario Trejo Perea
Suplente

Dr. Francisco Javier García Rodríguez
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

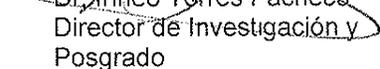

Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

Este trabajo esta enfocado en la realización de un material ligero compuesto de cemento y poliestireno expandido reciclado, este ultimo como sustituto de arenas. Se buscó propiedades similares a las de un mortero convencional pero con características de aislamiento térmico y acústico a demás de ligereza por la peculiaridad del poliestireno expandido que en su estructura el 98% es aire. Para obtener este efecto partimos de una mezcla control elaborada de cemento, de acuerdo a los estándares del ACI (American Concrete Institute). Y partiendo de la mezcla control se elaboraron siete dosificaciones con distinta relación cemento-poliestireno. Se encontró que entre más poliestireno la resistencia a la compresión disminuye por debajo de los 40 Kg/cm² pero el material es mas ligero obteniendo densidades hasta de 900 Kg/m³, que facilita su elaboración y uso como panel divisorio, es mas flexible lo que hace que las grietas sean menos propensas a generarse, su capacidad térmica crece lo que nos permite utilizarlo como aislante térmico, su capacidad acústica incrementa, y además es económico ya que utilizamos un material reciclado, y al mismo tiempo ayudamos al medio ambiente ya que el poliestireno expandido es un material que en México no tenemos la cultura de reutilizarlo.

Palabras clave (Poliestireno, Mortero, Ligero, Reciclado, térmico, acústico).

SUMMARY

This work is focused on the realization of a lightweight cement composite and recycling expanded polystyrene, the latter as a substitute for sand. Similar to conventional mortar but with characteristics of thermal and acoustic insulation of lightness by other peculiarity of expanded polystyrene in its structure is 98% air properties were searched. For this purpose we start with an elaborate monitoring cement mixture, according to the standards of ACI (American Concrete Institute). And based on the control mixture dosages were developed seven different relationship with cement-polystyrene. It was found that the more polystyrene compression resistance falls below 40 kg/cm^2 but is lighter material to obtain densities of 900 kg/m^3 , which facilitates their preparation and use as a partition panel, which is more flexible causes cracks are less likely to be generated, its thermal capacity grows allowing us to use as thermal insulation, acoustic capacity increases, and it is economical because we use a recycled material, and simultaneously help the environment because the expanded polystyrene is a material that in Mexico we have no culture of reuse.

Keywords (Polystyrene, Mortar, Lightweight, Recycled, Thermal, Acoustic).

DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a todas las personas que creyeron en mi y me dieron su amistad, apoyo, ánimo y compañía a lo largo de mi estancia en la ciudad de Querétaro. A todos aquellos que voluntariamente pusieron su granito de arena para la realización de este trabajo. Y principalmente a mis padres y hermanos que son un pilar fundamental en mi vida

Muchas Gracias...!!!!

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, el Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza, por confiar en mí para la realización de esta investigación, por su dirección y crítica al trabajo de tesis. Pero sobre todo gracias por brindarme su amistad.

A nuestra Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que me dio la oportunidad de hacer realidad una de mis metas. Por el apoyo que siempre recibí para la elaboración de mis pruebas tanto de laboratorio como materiales.

A mis padres Héctor y Blanca, por siempre guiarme por el buen camino aconsejarme y estar conmigo en los momentos difíciles y siempre tener su apoyo incondicional.

A mis hermanos Melissa y Sebastián, por brindarme su cariño y aliento no dejando que bajara los brazos y contar con ellos incondicionalmente.

A mis sinodales; Dr. Jaime Horta Rangel, Dra. Teresa López Lara, Dr. Mario Trejo Perea y al Dr. Francisco Javier García Rodríguez, por sus valiosas aportaciones y comentarios.

Al Dr. José Luís Reyes Araiza, por su apoyo, paciencia. Gracias por brindarme su tiempo y amistad.

A mi novia Berenice, por sus ánimos hacia mi persona, por siempre estar conmigo, comprenderme y darme su cariño.

"A mis profesores, amigos...

...y todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este trabajo."

ÍNDICE

Página

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	x

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ORIGEN DEL TRABAJO.....	3
1.2 CAMPOS DE ACCIÓN.....	8
1.2.1 MEDIO AMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD	8
1.2.2. EL CONCEPTO “DESARROLLO SUSTENTABLE”	8
1.2.3 LOS RESIDUOS.....	9
1.2.4 REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE	11
1.2.5 TRATAMIENTO DE RESIDUOS	11
1.3 PLÁSTICOS EN EL MUNDO.....	11
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.5 OBJETIVO.....	13
1.6 HIPÓTESIS.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. EL CONCRETO LIGERO.....	15
2.1.1. LOS AGREGADOS LIGEROS.....	17
2.1.2. POLIESTIRENO COMO AGREGADO LIGERO.....	18
2.2 CEMENTO TIPO PORTLAND.....	24
2.2.1 DEFINICIÓN	24
2.2.2 CEMENTO PORTLAND TIPO I.....	24
2.2.3 DESCRIPCIÓN.....	24
2.2.4 PROPIEDADES.....	24
2.2.5 ALMACENAMIENTO.....	24
2.2.6 EMPAQUE.....	24
2.3 CONCRETO CELULAR	25
2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR	27
2.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO.....	27
2.4.2 ABSORCIÓN DEL AGUA.....	29
2.4.3. AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	30
2.4.4. DURABILIDAD.....	31

	Página
2.4.5 TRABAJABILIDAD.....	31
2.4.6. MANEJABILIDAD.....	33
2.4.7. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.....	33
2.4.8. DENSIDAD.....	35
2.5. COMPARACIÓN ENTRE UN MORTERO NORMAL Y UNO LIGERO.....	36
III. METODOLOGÍA.....	37
3.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR.....	38
3.2 ELEMENTOS GENERALS.....	38
3.3 ELEMENTOS ESPECÍFICOS.....	39
3.4 PROPUESTAS DE SOLUCIONES.....	39
3.5 TRABAJO EXPERIMENTAL.....	40
3.5.1. TRABAJOS PREVIOS A LA EXPERIMENTACIÓN.....	40
3.5.1. ETAPA GENERAL.....	43
3.5.3 ETAPA FINAL.....	54
IV. DOSIFICACIONES Y RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	59
4.1 DOSIFICACIONES DE MORTEROS.....	59
4.2 DENSIDADES POR PROPORCIÓN.....	62
4.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN POR PROPORCIÓN.....	65
4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR PROPORCIÓN.....	69
4.5 RESULTADOS DE ACÚSTICA POR PROPORCIÓN.....	72
4.5 RESULTADOS DE COMPARACIONES TÉRMICAS.....	78
V. CONCLUSIONES.....	81
VI. REFERENCIAS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

1. El flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en la sociedad tecnológica Fuente: Tchobanoglous G. (1994). Gestión Integral de residuos sólidos. Madrid: Mc Graw Hill.	10
2. Producción Mundial de Plásticos distribuido por países productores, 2001 Fuente: BASF. Sartorius, I. (sep02) Development of plastics Manufacturing in Europe.Triestre: ICS-UNIDO.	12
3. Producción Mundial de Plásticos por tipo de plástico, 2001 Fuente: BASF. Sartorius, I. (sep02) Development of plastics Manufacturing in Europe.Triestre	12
4. Densidades de concreto con diversos agregados ligeros (Neville, 2000).	17
5. El efecto de poliestireno en la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades (Mansour-Himza, 2002).	21
6. Porcentajes de reducción de peso con respecto al yeso sin ningún tipo de adición. (Gonzales-Lloveras, 2007).	22
7. Cavidades del mortero celular originadas por burbujas de aire (D'Annunzio, 1963).....	25
8. Relación entre el contenido de agua y el contenido de arena obtenidos de varios niveles de contenidos de aire y cemento (Gilkey, 1985).	33
9. Relación entre resistencia a compresión a los 28 días y la relación agua-cemento.	34
10. Relación entra la resistencia a compresión a los 90 días y el contenido de aire (Pinto y Hover, 2001).....	35
13. Báscula digital, utilizada para pesar el cemento(foto tomada en la UAQ).....	46
14. Báscula digital, utilizada para pesar el poliestireno (foto tomada en la UAQ).	47
15. Probeta 1000 ml. utilizada para medir el agua (foto tomada en la UAQ).	47
16. Moldes cúbicos de 5 cm por lado engrasados (foto tomada en la UAQ).	48

17. Charola, cucharon y espátula para mezclado del material (foto tomada en la UAQ).....	48
18. Charola con el cemento (foto tomada en la UAQ).....	49
19. Se agregará poliestireno al cement(foto tomada en la UAQ)	49
20. Cemento y poliestireno homogenizado (foto tomada en la UAQ)	50
21. Agregado del agua al cemento con poliestireno. (foto tomada en la UAQ)...	50
22. Mezcla de las pasta con el poliestireno (foto tomada en la UAQ).	51
23. Vaciado de pasta y compactado con varilla punta de bala. (foto tomada en la UAQ).....	51
24. Enrazado de los especímenes (foto tomada en la UAQ)	52
25. Descimbrado de cubos. (foto tomada en la UAQ).	52
26. Curado de los especímenes en cuarto húmedo (foto tomada en la UAQ). ...	53
27. Pesado en seco de los especímenes. (foto tomada en la UAQ).	53
28. Cubos sumergidos en agua durante 24 h (foto tomada en la UAQ).....	55
29. Ensayo a compresión de cubo de 5x5x5 proporción D2 (foto tomada en la UAQ).....	56
30. Las grietas paralelas a la carga son causadas por un esfuerzo de tracción localizado en una dirección normal a la carga de compresión.	56
31. Construcción del banco de pruebas acústicas (foto tomada en la	57
32. Banco de pruebas terminado visto en planta (foto tomada en la	58
33. Densidad del las dosificaciones.....	65
34. Porcentaje de absorción de las distintas dosificaciones.....	68
35. Resistencia a la compresión de las distintas dosificaciones.	71
36. Resultados de prueba a cajón acústico en decibeles.....	72
37. Resultados de prueba a D1 cajón acústico en decibeles.	72
38. Resultados de prueba a D2 en cajón acústico en decibeles.	73
39. Resultados de prueba a D3 en cajón acústico en decibeles.	73
40. Resultados de prueba a D4 en cajón acústico en decibeles.	74
41. Resultados de prueba a D5 en cajón acústico en decibeles.	74
42. Resultados de prueba a D6 en cajón acústico en decibeles.	75

43. Resultados de prueba a D7 en cajón acústico en decibeles.	75
44. Resultados de prueba a D8 en cajón acústico en decibeles	76
45. Resultados de prueba a D9 en cajón acústico en decibeles.	76
46. Promedio de las pruebas de cada dosificación.	77
47. Comparativa térmica entre D1 y D4.	78
48. Comparativa térmica entre D2 y D3.	79
49. Comparativa térmica entre D2 y D3.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Página

1. Propiedades comparativos de muestras A y B en comparación con los parámetros reportados (Hernández-Zaragoza J.B., 2013).....	19
2. Rangos con los cuales cumple la denominación de mortero de baja densidad(Zaher Kuhail, 2000).	20
3. Resultados experimentales. (Munive-Leal, 2010)	23
4. Valores de conductividad y resistividad térmica de diferentes tipos de concreto ligero (Concretas Celulares Ltda., 2009).	28
5. Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México. (Romero, 2010)	29
6. Densidades y resistencias del concreto celular elaborado con espuma preformada (Cellular Concrete LLC, 2009).	33
7. Aplicaciones del concreto celular con espuma preformada dependiendo de la densidad (Concretos Celulares Ltda., 2009).	35
8. proporcionamiento de mezclas.	44
9. Cantidad de material utilizada para la dosificación D1.	59
10. Cantidad de material utilizada para la dosificación D2.	59
11. Cantidad de material utilizada para la dosificación D3.	60
12. Cantidad de material utilizada para la dosificación D4.	60
13. Cantidad de material utilizada para la dosificación D5.	60
14. Cantidad de material utilizada para la dosificación D6.	61
15. Cantidad de material utilizada para la dosificación D7.	61
16. Cantidad de material utilizada para la dosificación D8.	61
17. Cálculo de densidad del los especímenes D1.	62
18. Cálculo de densidad del los especímenes D2.	62
19. Cálculo de densidad del los especímenes D3.	62
20. Cálculo de densidad del los especímenes D4.	63
21. Cálculo de densidad del los especímenes D5.	63
22. Cálculo de densidad del los especímenes D6.	63

	Página
23. Cálculo de densidad del los especímenes D7	64
24. Cálculo de densidad del los especímenes D8	64
25. Densidades de todas las dosificaciones	64
26. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D1	65
27. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D2	66
28. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D3	66
29. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D4	66
30. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D5	67
31. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D6	67
32. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D7	67
33. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D8	68
34. porcentajes de absorción de todas las dosificaciones	68
35. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D1	69
36. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D2	69
37. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D3	69
38. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D4	70
39. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D5	70
40. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D6	70
41. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D7	71
42. Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones	71
43. Pruebas realizadas al cajón acústico diez pruebas y su promedio.	72
44. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D1 diez pruebas y su promedio.....	72
45. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D2 diez pruebas y su promedio.....	73
46. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D3 diez pruebas y su promedio.....	73
47. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D4 diez pruebas y su promedio.....	74

48. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D5 diez pruebas y su promedio.....	74
49. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D6 diez pruebas y su promedio.....	75
50. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D7 diez pruebas y su promedio.....	75
51. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D8 diez pruebas y su promedio.....	76
52. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D9 diez pruebas y su promedio.....	76
53. Promedio de las pruebas de cada dosificación.	77

I. INTRODUCCIÓN

En este documento de tesis se expone el estudio a la propuesta de un material, que resulta al mezclar residuos reciclados de poliestireno expandido y un cemento hidráulico común en la construcción que es el cemento.

La forma propuesta de reciclaje del poliestireno, busca colaborar a la reducción del problema de la gestión de los residuos de plásticos celulares que se producen en las ciudades. Principalmente de aquellos que provienen de aplicaciones de embalaje que, por sus características de uso y después de una corta vida útil, son dispuestos para el flujo de residuos en grandes cantidades y cuando sus propiedades como espumas se encuentran generalmente intactas.

Este esfuerzo busca presentar una alternativa para conservar la utilidad y alargar el ciclo de vida de los residuos de este tipo, lo que en principio coopera a disminuir las cantidades de poliestireno para ser reciclados o revalorados y, en el caso más indeseable, a postergar su depósito en los rellenos municipales.

El progreso y bienestar que hoy gozan en los países industrializados también se refleja en efectos indeseados, como son severos impactos al medioambiente a escala local y global, producto de un consumo desenfrenado de recursos en materiales y energía. Hay otras muchas señales que nos indican la falta de sustentabilidad de nuestras formas de producir, comerciar y consumir. Un mensaje claro de los desajustes del estilo de vida con el entorno, es la evidente acumulación de residuos que se vierten en mayor o menor escala y con diferentes características en la mayoría de las sociedades del mundo. El problema de los residuos es un mal de hoy, difícil de soportar pero factible de atender para reducir sus consecuencias.

De manera consistente crece en la sociedad el convencimiento de la necesidad por reducir la cantidad de residuos. Para lograrlo, son condiciones el disminuir el consumo de los mismos y después aumentar el reciclaje de estos

materiales y para ello se han desarrollado diversas técnicas que buscan retornar al ciclo industrial a los residuos, conservando de la mejor manera sus propiedades originales.

Desde nuestras posibilidades, buscando aportar a la mejora del medioambiente por medio del reciclaje de residuos de poliestireno, nos hemos propuesto mostrar una forma novedosa y sencilla de alargar la vida útil de esos materiales y que pretende por un lado, disminuir la demanda de materiales vírgenes y además permitirnos ofrecer un producto para la construcción que cooperen al uso eficiente de la energía en las edificaciones.

A lo largo de los siglos, y prácticamente en todas las culturas, los cementantes han tenido un amplio uso en todo tipo de edificaciones, estos concretos se ajustaban muy bien a las diversas técnicas constructivas, por lo que se usaron durante mucho tiempo sin cambios sustanciales. Hoy en día el hombre ha tratado de crear e innovar nuevos materiales de construcción con mejores ventajas en cuanto a resistencia, ligereza, manejabilidad, permeabilidad y con propiedades térmicas y acústicas pero siempre ligadas a un menor costo y recientemente con la utilización de materiales reciclados. Es por ello que se han desarrollado morteros con dosificaciones que contengan agregados más ligeros que los tradicionales (grava y arena), permitiendo obtener un mortero con un peso por debajo de los tradicionales, pero relativamente igual a un mortero tradicional.

Por lo tanto la necesidad del hombre por poseer un material que tenga diversas propiedades y características favorables tanto a la construcción como para el medio ambiente lo ha llevado a experimentar con innovadoras técnicas para la elaboración de un material sustentable, desgraciadamente, esta tendencia no ha sido adoptada por los constructores mexicanos, quienes han preferido los sistemas constructivos tradicionales de mortero convencional. Por lo que Nuestro objetivo en este trabajo es desarrollar un mortero con un adecuado comportamiento estructural y con características favorables como los

son el aislamiento térmico, acústico y que a su vez ofrezca un beneficio ecológico.

En la actualidad, de acuerdo al Protocolo de Kioto puesto en marcha el 16 de febrero del 2005, se está tratando de disminuir el calentamiento global; una forma en la que se podría realizar esto, es disminuir el consumo de cemento Portland, ya que al elaborar dicha mezcla se emiten al aire diversos contaminantes (monóxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre, y partículas muy finas) dependiendo del tipo de combustible y proceso empleado durante la calcinación en el horno.

1.1 ORIGEN DEL TRABAJO

Este trabajo se centra en la utilización del poliestireno triturado reciclado que procede de empaques y embalajes que son utilizados para los productos de la industria electrónica, farmacéutica, manufacturera, química, artesanal, etc. En este trabajo el poliestireno triturado se utiliza como un agregado, para obtener un mortero ligero con propiedades térmicas y acústicas, gracias al aire incluido en el poliestireno, el mortero celular, aportara beneficios térmicos y acústicos, ya que la barrera de aire que genera el poliestireno impide la transmisión de sonidos, al igual funciona como barrera para impedir la pérdida o ganancia de temperatura (Chandra y Bemtsson, 2003). En este estudio se evaluar la influencia de la adición de distintos tipos de dosificación de poliestireno expandido triturado proveniente del reciclado sobre las características físicas y mecánicas de morteros de cemento portland, las variables a estudiar son resistencia mecánica, densidad absoluta, absorción de agua, absorción acústica y aislamiento térmico.

Un concreto o mortero celular se puede realizar de diferentes maneras y básicamente depende de un factor que es el aire. Es decir, la forma para disminuir la densidad del material está en incluir aire a su estructura.

Una de estas formas es el sustituir el agregado grueso por aire. Al incluir

el poliestireno triturado en la estructura del material nos da como resultado pequeñas burbujas dentro del concreto o mortero ocupando espacio en la mezcla y al fraguar, las células de aire serán las que permitan una mayor ligereza del material. A este tipo de concreto ligero se le denomina „Concreto Celular“. La densidad del concreto celular se encuentra en un rango de 300 a 1800 kg/m³ obteniéndose una resistencia de hasta 210 kg/cm² (Neville, 2000). Si consideramos que para la construcción de una vivienda se requieren de resistencias de 150 a 210 kg/cm², el concreto celular es una buena opción. En morteros celulares la resistencia será menor pero relativamente igual a los morteros convencionales.

Fue a finales del siglo XIX en Estados Unidos e Inglaterra, cuando se empezó a utilizar principalmente el concreto ligero. En estos países se realizó una dosificación sustituyendo los agregados comunes, por la escoria de hulla (carbón). Este material se empleó para la realización, tanto de obras de bajo costo como de viviendas, y así como en edificaciones.

En diferentes países europeos como Inglaterra y Alemania se empezó a realizar el concreto y el mortero celular sustituyendo los agregados tradicionales por agregados ligeros comunes de la región, pero su gran demanda provocó que éstos escasearan, en Inglaterra la escoria de termoeléctricas a base de carbón y en Alemania la piedra pómez. Por la escasez de materiales ligeros, se optó por el desarrollo de concretos y morteros a base de espumas, en Alemania se optó por materiales alternativos tales como los agregados a base de espumas y en Inglaterra se desarrolló por medio de espumas jabonosas que permiten la encapsulación del aire.

Estados Unidos es el país que desarrolló los agregados ligeros a base de agentes espumantes, con mayor rapidez que otros países europeos. La gran extensión de este país provoca altos costos en la transportación de los materiales pesados tradicionales al sitio de la obra. Estados Unidos cuenta con

grandes cantidades de agregados ligeros, pero la distancia que existe entre éstos y la obra o los centros de prefabricado, provoca que resulte mucho más económico realizar agregados a base de agentes espumantes producidos en el mismo sitio de la obra.

En Latinoamérica, el desarrollo del concreto celular ha alcanzado un buen nivel de aceptación y de producción. En Brasil el concreto celular ha alcanzado un auge importante, habiéndolo utilizado en monumentos y estatuas ostentosas de gran tamaño y poco peso, ahora es utilizado en viviendas de nivel social alto para la fabricación de muros aislantes térmicos y acústicos. En Argentina el concreto celular ha sido implementado a través de bombas generadoras de espuma para la construcción de bloques de gran tamaño y poco peso. En Venezuela se emplea el concreto celular para la fabricación de vivienda industrializada, losas de pavimentación y rellenos, a pesar de ser más económico que el concreto convencional, en ese país se vende a un mayor costo debido a la explotación de sus ventajas térmicas y acústicas (Chandra y Bemtsson, 2003).

Sin lugar a duda el concreto celular y el mortero celular son materiales que han tenido una gran aceptación dentro de la industria de la construcción gracias a las numerosas ventajas que ofrece. Utilizar un concreto o un mortero celular, nos permitirá reducir las cargas muertas de nuestra estructura provocando la disminución en cuanto al costo de nuestra cimentación (cervantes, 2008). La baja densidad del material nos permite reducir tiempos en la transportación del material a la obra, ya que nuestro transporte podrá cargar mayor número de bloques o paneles, disminuyendo también el costo de flete. Por otro lado este tipo de material posee gran nivel de aislamiento térmico y acústico en comparación con otros materiales.

En nuestro país existen diferentes industrias que comercializan el concreto y el mortero celular, CEMEX (Cementos Mexicanos), CONCRESA y HEBEL. CEMEX y CONCRESA ofrecen el servicio de concreto móvil, el cual puede ser colado en sitio. HEBEL utiliza tecnología Alemana, ofreciendo un sistema constructivo a base de blocks y paneles ligeros, productos prefabricados que no pueden producirse en sitio, ya que las dosificaciones se tienen que realizar en planta y pasar por un sistema de calidad, provocando que el costo sea mucho mayor.

Cabe mencionar que existen dos procesos para la fabricación del concreto celular: el método químico y el método espumoso. El método químico consiste en añadir aditivos químicos (polvo de Aluminio) que al reaccionar con la mezcla de concreto producen un gas (hidrógeno) lo cual permite ocupar cierto volumen de aire; el segundo método consiste en producir espuma la cual se puede añadir a la mezcla de dos formas, de manera interna o externa. Las espumas tienen como objetivo atrapar el aire del ambiente y homogeneizarlo en la mezcla. Sin embargo, el concreto celular elaborado con gas tiene la desventaja de ser estrictamente producido en planta debido a que requiere de un curado en autoclave para obtener su resistencia y durabilidad, por ello su alto costo; el concreto celular con espuma producida internamente tiene la desventaja de ser muy volátil en cuanto a resistencia se refiere, por lo que es necesario un estricto control de la cantidad de aditivo añadido o la velocidad de mezclado. Mientras que el concreto con espuma preformada permite ser producido en obra y permite mayor manejabilidad durante su uso (Organista, 1999).

Hoy en día la creación de un concreto o mortero celular ha dado un giro hacia la sustentabilidad, es decir se ha innovado para poder realizar un mortero o concreto ligero utilizando agregados reciclados o desechos industriales. Tratando de no sacrificar las ventajas de los morteros celulares o morteros ligeros que existen en el mercado.

Es por ello que esta investigación se enfoca en obtener un mortero ligero mediante el uso de poliestireno reciclado como agregado. Obteniendo así un material con similares propiedades mecánicas a los materiales tradicionales, pero con propiedades físicas aceptables.

El poliestireno expandido se utiliza hoy en día como un embalaje popular o material aislante en varios campos industriales en el mundo por sus características, tales como peso ligero, baja resistencia térmica y alta conductividad. Sin embargo, la mayor parte del poliestireno expandido está dispuesto como un residuo voluminoso inmediatamente después de un solo uso, y la eliminación de una gran cantidad de residuos de poliestireno expandido se ha convertido en un problema medioambiental grave que se demanda en el mundo. Aproximadamente el 61% de los residuos de poliestireno expandido no se recicla como las materias primas en el mundo en la actualidad. Por lo que los morteros de polímeros se consideran procesos efectivos de reciclado para los desechos de poliestireno expandido.

El Poliestireno Expandido (PE) se conoce con diferentes nombres en América Latina. Por ejemplo en Argentina como Telgopor (marca comercial de la empresa Hulytego); en Bolivia: Plastoformo; en Brasil: Isopor, en Colombia: Icopor (Industria colombiana de poros); en Chile: Plumavit y Aislapol; en Cuba: Poliespuma y en México se le conoce como: Hielo seco o Unicel.

Se estima que la producción en México sea de 500 mil toneladas de poliestireno al año, de las cuales se recicla menos del 1%, el resto es confinado en los rellenos sanitarios donde alcanza a ocupar el 15% del volumen, aunque puede tardar entre 500 y 800 años en degradarse. (Oem, 2012).

1.2 CAMPOS DE ACCIÓN

1.2.1 MEDIO AMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD

Desde finales del siglo XIX, la ciencia comenzó a desarrollar nuevas ramas, donde su unidad básica de estudio es el Ecosistema y a través de sus trabajos hoy sabemos que efectivamente se producen graves alteraciones en nuestro entorno y que en el origen de estos cambios participan las actividades de los seres humanos. La pérdida de biodiversidad, el aumento de las concentraciones de productos tóxicos en el medio ambiente, la erosión de tierras, la disminución de la capa de ozono de la estratosfera, la lluvia ácida, el cambio climático y el agotamiento de los recursos no renovables, entre otros muchos más, son tan sólo síntomas populares de los daños que se han producido por la indiscriminada apropiación de la biosfera por el ser humano.

1.2.2. EL CONCEPTO “DESARROLLO SUSTENTABLE”

La expresión “desarrollo sustentable” es de uso común hoy día, “se ha generalizado y ha llegado a ser una palabra fetiche, una consigna para políticos y gobiernos, un mandato para las organizaciones internacionales y un slogan para los ambientalistas”... el concepto es ciertamente complejo y requiere de algunas consideraciones (Bifani, 1999).

“Desarrollo Sostenible” o también “Desarrollo Sustentable” es una traducción de la expresión inglesa “Sustainable Development” y es aquí donde habrá que poner atención en las diferencias:

La World Commission on Environment and Development (WCED) define al Desarrollo sustentable como “aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas”.

Esta definición ha sido ampliamente criticada por la ambigüedad que muestra, con interpretaciones que pueden inclusive ser contradictorias; decir

crecimiento sostenible es una contradicción, ya que nada en el mundo de la física puede crecer indefinidamente. Otras confusiones provienen de términos que se han utilizado simplemente intercambiándolos por desarrollo sustentable “uso sustentable” se aplica únicamente a los recursos renovables: significa que se utilizan en proporciones que están dentro de la capacidad de renovación... una “Economía sustentable” es el producto del desarrollo sustentable. Mantiene la base de recursos naturales y puede continuar el desarrollo adaptándose y mejorando los conocimientos, la organización, la eficiencia, la técnica”.

1.2.3 LOS RESIDUOS

1.2.3.1 LOS RESIDUOS MUNICIPALES

Si bien es cierto que la presencia de residuos ha acompañado al hombre desde su aparición sobre la tierra, también se ha de aceptar que el problema de la evacuación de residuos se muestra como tal, coincidiendo con el desarrollo tecnológico de los últimos dos siglos o de la fase de alta energía. Podemos decir que los beneficios aportados por la tecnología trajeron también el reto de los residuos

El problema de los residuos hoy en día es de enormes proporciones. Para comprender la naturaleza y dimensiones del problema, Tchobanoglous (1994) propone observar el flujo de materiales en lo que él llama la sociedad tecnológica (figura1). Destaca que desde la extracción de la materia prima hasta la evacuación final del producto fabricado, la presencia de residuos se incrementa en cantidad y se hace más compleja en cada etapa.

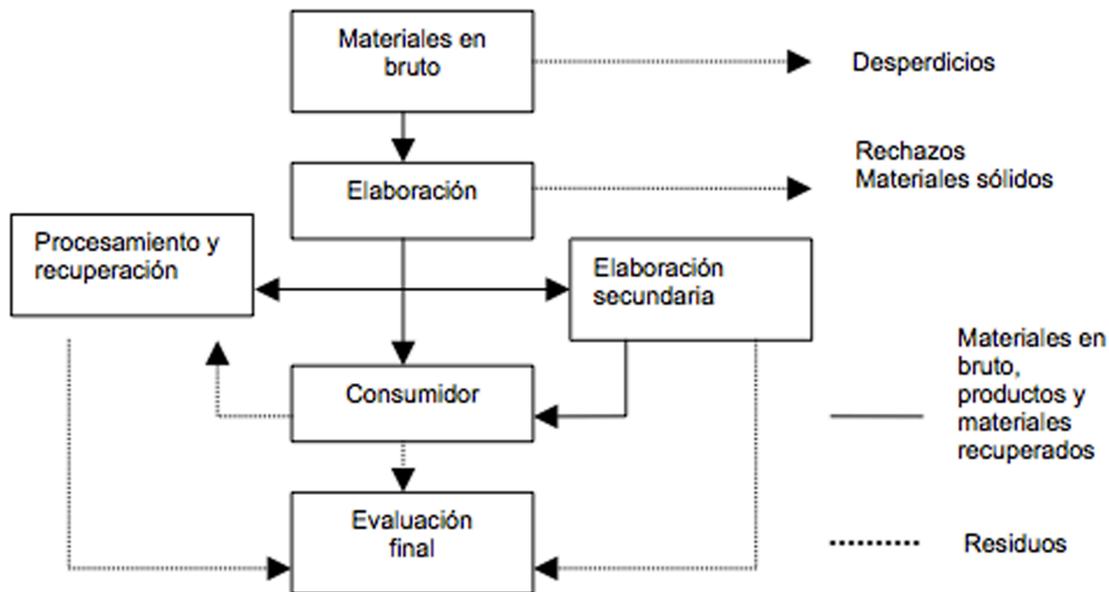


Figura 1. El flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en la sociedad tecnológica
Fuente: Tchobanoglous G. (1994). Gestión Integral de residuos sólidos. Madrid: Mc Graw Hill.

Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o Residuos Municipales (RM) son:

“los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares y actividades”.

Atendiendo la definición, también son RSU los que proceden de la limpieza de las calles, zonas públicas y aquellos que resultan de las obras de reforma domésticas. Para una mayor comprensión del tema, se describen los principales tipos de Residuos Urbanos o Municipales, aunque los Ayuntamientos tienen la potestad de decidir cuales son los residuos que considera urbanos o Municipales y cuales son los Residuos especiales o peligrosos y que por lo tanto se gestionan aparte (Ferrer, 2000).

1.2.4 REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE

No todos los procesos permiten aplicar con éxito medidas que tienden a la reducción de residuos. Muchos presentan obstáculos técnicos, algunos otros de demandas del mercado que impiden un cambio. Así una vez que se da el residuo, la manera más indicada para disminuir su impacto al medioambiente es volver a utilizarlo.

1.2.5 TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Comprende un conjunto de tecnologías que se aplican buscando disminuir el impacto que provocan los residuos al medioambiente. Son tres los métodos usados en el tratamiento de residuos:

- ✓ Tratamientos físicos separan los residuos en sus componentes principales.
- ✓ Tratamientos químicos tienen como objetivo principal la eliminación de los contaminantes en el residuo.
- ✓ Tratamientos biológicos aplica especialmente a la reducción de materia orgánica a través de promover el desarrollo de microorganismos específicos.

1.3 PLÀSTICOS EN EL MUNDO.

Desde su aparición como materiales industriales, tanto la producción como el consumo de plásticos ha crecido de forma sostenida, a excepción de ciclos que corresponden con hechos puntuales, como fue la crisis petrolera de los años setenta y la guerra de Irak en el 2002. En fechas recientes esta tendencia al crecimiento se ha confirmado.

La producción mundial de plásticos para el año 2001 se concentra en tres grandes bloques de productores. Norteamérica y Europa Occidental dominan con el 27% de la producción mundial cada uno, Sudeste de Asia con el 24,5% y el resto se distribuye en las diferentes áreas geográficas del mundo (ver figura 2). La producción mundial de plásticos para el año 2003 fue de 169 millones de toneladas.

Producción Mundial de Plásticos 2001 por países productores

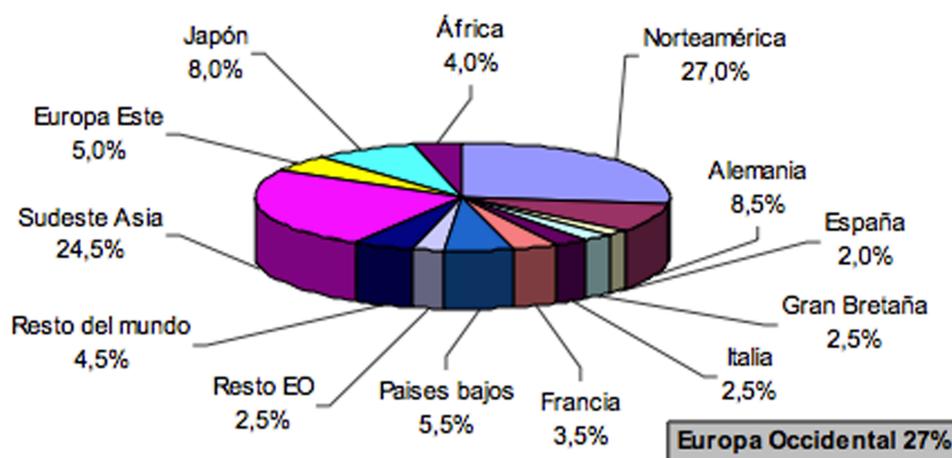


Figura 2. Producción Mundial de Plásticos distribuido por países productores, 2001 Fuente: BASF. Sartorius, I. (sep02) Development of plastics Manufacturing in Europe.Trieste: ICS-UNIDO.

En la producción mundial por tipo de plásticos, las poliolefinas mantuvieron su hegemonía sobre otras resinas con un porcentaje total del 53%, seguidas de lejos por el PVC con 17%. La producción de poliestireno (PS) y del poliestireno expandido (EPS) participaron con un 8,5%.

Producción mundial por tipo de plástico 2001

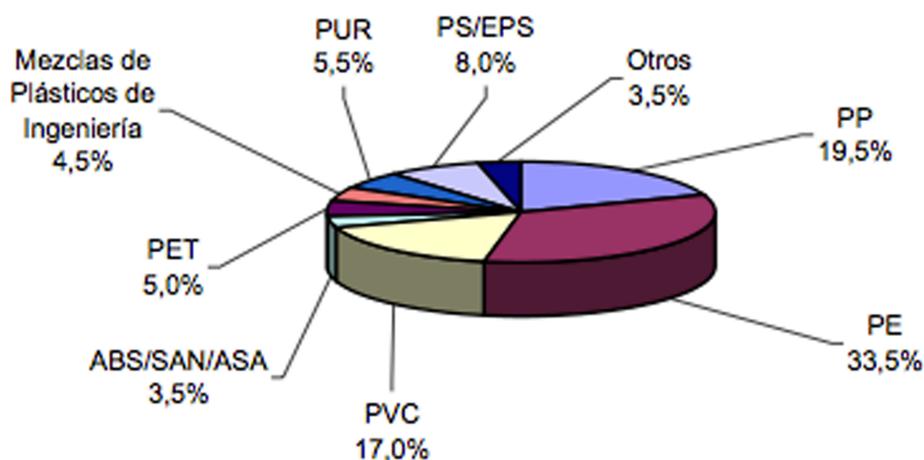


Figura 3. Producción Mundial de Plásticos por tipo de plástico, 2001 Fuente: BASF. Sartorius, I. (sep02) Development of plastics Manufacturing in Europe.Trieste

1.4 JUSTIFICACIÓN.

nuestra Investigación persiste de la inquietud por desarrollar un mortero ecológico el cual satisfaga las demandas de funcionalidad del mortero común, un adecuado comportamiento estructural, acústico, térmico y además ofrezca un beneficio ecológico, esto nos ayudara a una gestión sustentable de recursos que implica un menor consumo de materia prima y energía, así como reducción de residuos solidos.

Esto nos lleva a la necesidad de obtener sistemas alternativos y eficientes para la elaboración de nuevos materiales sustentables, utilizando desechos de poliestireno expandido(PE), se evaluará su viabilidad analizándose su comportamiento bajo pruebas de compresión, acústicas y térmicas.

Además, sumado a esto, la falta de investigación en México relacionada con el uso de poliestireno expandido en morteros y la evidencia de la diferencia en las características tanto físicas como mecánicas de la unión de morteros y poliestireno sobre todo en nuestra región con respecto del resto del mundo surge la necesidad de valorar la aplicabilidad de la sustentabilidad con material reciclado.

1.5 OBJETIVO.

El objetivo principal de esta investigación, es evaluar la viabilidad de las dosificaciones de mortero con distintas bases de cemento-PE y una relación agua cemento mínima de (0.45), mediante la realización de pruebas experimentales destructivas(compresión) y no destructivas(termo-acústicas). Esto con el fin de encontrar las proporciones adecuadas, para que sea un material útil en el sentido de resistencia y que a su vez tenga un beneficio térmico y acústico.

1.6 HIPÓTESIS.

Al sustituir arena en morteros por residuos triturados de poliestireno su resistencia a la compresión disminuye pero, se obtiene un material más económico, ligero, y con mejor aislamiento térmico y acústico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La revisión de la literatura utilizada para realizar esta investigación, se estructura de la siguiente manera.

Se parte de una breve descripción de los concretos ligeros, los tipos de agregados ligeros y una investigación de los últimos trabajos realizados con poliestireno expandido como agregado ligero. Posteriormente se hablará acerca del cemento portland como agregado principal de nuestro mortero también de la clasificación de los concretos y morteros ligeros, además de su forma de clasificación. A continuación se describirá uno de los morteros ligeros más utilizados en la actualidad, el mortero aireado, así como las propiedades y ventajas de la utilización del mortero ligero. Al final se mencionara una comparación entre un concreto o mortero convencional y un mortero adicionado con poliestireno expandido.

2.1. EL CONCRETO LIGERO

Pérez, Mireya (2006) en su artículo “Un repaso al concreto celular” menciona que el concreto ligero se identificó durante muchos años como aquél cuya densidad superficialmente seca no fuese mayor a 1800 kg/m³. Sin embargo, con la introducción de miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, esta densidad tuvo que ser revisada, pues algunas muestras de concreto producidas para este propósito tenían una densidad de 1840 kg/m³ o mayores. A pesar de esto, resultaba todavía bastante más ligero que el concreto común que usualmente pesa 2400 kg/m³.

Dado que no es posible definir específicamente a un concreto ligero como un concreto que no pese más de 1800 kg/m³, se ha sugerido definirlo como un concreto hecho a base de agregados de peso ligero o sin agregados que permitan obtener un peso menor al concreto convencional de 2400 kg/m³ (Chandra y Bemtsson, 2003).

Las ventajas de tener materiales con baja densidad en el proceso de construcción son numerosas; por ejemplo: permiten emplear secciones de menor tamaño y reducir las dimensiones de los cimientos, la cimbra soporta menor presión que la que tendría que resistir con el concreto normal, se incrementa la rapidez de construcción y se generan menores costos en transporte y acarreo. Adicionalmente, el concreto ligero ofrece un mejor aislamiento térmico que el concreto normal lo cual permite un ahorro en energía en la utilización de sistemas de aire acondicionado ó calefacción. Lo anterior se puede visualizar si se advierte que un muro sólido de concreto ligero de 12 cm de espesor proporciona un aislamiento térmico aproximadamente cuatro veces mayor que el de una pared de ladrillo de 23 cm de espesor (Chandra y Bemtsson, 2003).

Luis García Showell, gerente técnico del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, dice: “proporciona un menor peso muerto, de tal forma que las estructuras son menos robustas y por lo tanto, requieren de un menor consumo de materiales en acero, cemento, grava, y arena de tal forma que los edificios, las casas unifamiliares, son más ligeras, por lo tanto más baratas”.

El concreto de agregado ligero comprende un campo de aplicaciones muy amplio. Si se emplean los materiales y métodos apropiados la densidad del concreto puede variar de 300 hasta unos 1850 kg/m³, y el rango correspondiente a su resistencia se encuentra entre 3.5 y 422 kg/cm², y en algunas ocasiones más elevado. Se pueden llegar a obtener resistencias de hasta 633 kg/cm² con contenidos altos de cemento, aproximadamente de 560 kg/m³ (Neville, 2000).

En la figura 4 se muestra la variación normal de densidades de los concretos hechos con diversos agregados ligeros, basados principalmente en la clasificación del ACI de acuerdo al Comité ACI 313. En la figura se muestran tres tipos de aplicaciones del concreto ligero: concreto de baja densidad o aislante, concreto de resistencia media y concreto de uso estructural.

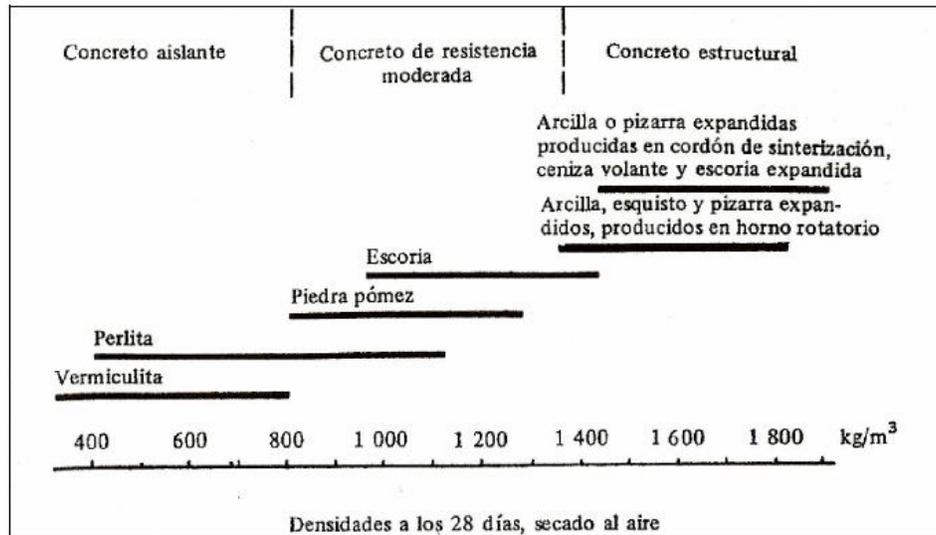


Figura 4. Densidades de concreto con diversos agregados ligeros (Neville, 2000).

2.1.1. LOS AGREGADOS LIGEROS.

Los agregados ligeros son definidos como agregados de baja densidad y se clasifican de acuerdo a su origen, en naturales o artificiales. Los agregados ligeros se encuentran clasificados dependiendo su densidad y estos a su vez producen un tipo de concreto ligero diferente dependiendo su densidad: mortero ligero, concreto ligero o concreto estructural ligero. (ACI, 2007, p.21)

Es muy importante tomar en cuenta lo que nos dicen Neville (2000) en su libro Tecnología del Concreto, con referente a los agregados. Puesto que el agregado ocupa, por lo menos, tres cuartas partes del volumen del concreto, no es de sorprender que su calidad revista considerable importancia. El agregado limita la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y, además, afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto. (Neville, 2000)

El agregado es el material que da mayor estabilidad de volumen y mejor durabilidad al mortero, que si se tuviera una pasta de cemento sola. Es un material cuyo peso es proporcional al peso del mortero.

La realización de un mortero ligero se puede realizar de diferentes maneras y básicamente depende de un factor que es el aire. Es decir, la forma para disminuir la densidad de un mortero está en incluir aire a su estructura. Con respecto a este punto Huerta, Raúl en su artículo “Concretos Ligeros” nos dice que: La disminución de la densidad de estos concretos se produce por una presencia de vacíos en el agregado, en el mortero o entre las partículas de agregado grueso”. En la figura 2 se muestran las tres maneras para lograrlo y su combinación de estas.

Mortero sin finos: Omitiendo el agregado fino y las partículas de diámetro pequeño del agregado grueso, por consiguiente se eliminará el aire que se encuentre entre las partículas del agregado.

Mortero con agregados ligeros: Sustituyendo los agregados de grava o piedra triturada por agregados con estructura celular o porosa, los cuales incluyen aire dentro de la estructura del mismo agregado.

Mortero celular: Produciendo burbujas de aire, de tal manera que al fraguado quede una estructura celular llamada mortero celular o aireado.

2.1.2. POLIESTIRENO COMO AGREGADO LIGERO.

Algunos trabajos que utilizaron el poliestireno como agregado ligero son las siguientes.

La reciente publicación que realizó el Dr. Hernández-Zaragoza (2013) se enfoca en la fabricación de tabiques de baja densidad de 10x20x6 cm donde se utilizó cemento portland, agua y material reciclado de poliestireno, los resultados fueron que el ladrillo desarrollado en la investigación demostró propiedades mecánicas eficientes y que podría ser utilizado como albañilería en la construcción ya que este material cumple con los parámetros requeridos. Se compone de poliestireno expandido reciclado como agregado comercial y de cemento Portland como aglutinante . A diferencia de la mayoría de los trabajos

publicados en la literatura , este mortero no utiliza puzolanas o aditivos o agregados adicionales .

A diferencia de hormigón (con agregado grueso) , las trayectorias de fracaso siempre siguen las interfaces de las partículas de agregado de poliestireno y cortar a través de la pasta de cemento y de las propias partículas de agregado . Las grietas en los ladrillos de poliestireno son similares a las grietas de concreto reportados en la prueba de compresión y tracción . En los resultados de las propiedades se observó el mismo rango de error al realizar las pruebas, que se puede disminuir al aumentar el número de pruebas.

El uso sustentable de poliestireno expandido en bloques de hormigón celular fue muy favorable con respecto a las existentes en el mercado . El material obtenido es más ligero, lo que facilita los avances en la Ciencia de los Materiales e Ingeniería.

Su producción y transporte es más sencilla, es menos permeable, lo que ayuda a evitar la formación de humedad. Además, es más resistente y flexible, lo que hace que sea menos vulnerable al agrietamiento de paredes causados por los movimientos del terreno. Por último, este material es más barato, ya que utiliza materiales reciclables y tiene propiedades que impiden su deterioro así aumentando su vida útil. Se observo que la humedad del medio ambiente y la humedad EP disminuyen las propiedades de resistencia de ladrillo y el aumento de su densidad y absorción. Se recomienda el uso de la EP completamente seco bajo un ambiente seco para obtener las mejores propiedades de ladrillo (Hernández-Zaragoza J.B., 2013).

Tabla 1. Propiedades comparativos de muestras A y B en comparación con los parámetros reportados (Hernández-Zaragoza J.B., 2013).

Propiedad	Tabique A	Tabique B	Tabique de Arcila	Tabique de mortero
Dimensiones: espesor, ancho y longitud(cm)	6,10,20	6,10,20	5.5,11.5,23	18,12,38
Peso volumétrico (Kg/m³)	1568	1236	1580	1890
Porcentaje de absorción (%)	9.3	4.3	17.8	25.2
Resistencia a la compresión (MPa)	9.96	6.92	11.16	4.69
Tensión de ruptura media (MPa)	2.94	1.65	0.755	0.794

Zaher Kuhail (2000) se encargo de estudiar las características del concreto ligero que consiste en poliestireno, arena, cemento y agua. A través de ese trabajo se ha demostrado que la combinación propuesta por Kuhail es dar fortalezas muy fiables de hasta 200 kg/cm², con una baja densidad, una trabajabilidad de la mezcla muy alta a una baja relación agua/cemento (.35), y un método de mezclado muy sencillo, relativamente barato y no necesita sistemas complejos de máquinas. Algunas de las aplicaciones que kuhail le dio a este concreto fueron para componentes no estructurales tales como; bloques huecos losas nervadas paneles de aislamiento térmico y acústico, losas de resistencia a las heladas, pendientes de techos y elementos estructurales, tales como; componentes prefabricados ligeros y bloques ligeros. Pero las propiedades mecánicas y químicas aun están en discusión con el fin de estudiar el comportamiento del poliestireno en diferentes ambientes (es decir, uso de campo). Esto se puede considerar una nueva línea de investigación para el concreto de peso ligero. En la tabla 2 se muestra los materiales y sus rangos con los cuales se elaboraron las mezclas (Zaher Kuhail, 2000).

Tabla 2. Rangos con los cuales cumple la denominación de mortero de baja densidad(Zaher Kuhail, 2000).

Material	Rango	Observaciones
Cemento	200-600 Kg/m ³	
Arena	150-700 Kg/m ³	
Poliestireno	0.3-1.2 m ³ /m ³	Cuando la mezcla se compacta hasta el 70% de su tamaño original aproximadamente.
Agua/Cemento	0.35-0.45	Sin mezcla posible mas alla de este rango.

En el año 2002 En un estudio realizado por Mohammed Mansour Kadhum y Mohammed Himza en Babylon University College of Engineering, se investigaron algunas de las propiedades mecánicas del hormigón de poliestireno, por métodos destructivos y no destructivos. Los resultados experimentales de la prueba no destructiva se correlacionaron con la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia al impacto y patrones de agrietamiento. El resultado del ensayo mostró que las propiedades mecánicas del hormigón mejoran con la adición de poliestireno hasta 1/3 (porcentaje de cemento / poliestireno). Por otro lado, el aumento de

poliestireno a proporción de cemento se encontró que aumenta la resistencia a flexión y resistencia a la abrasión para el hormigón(Mansour-Himza, 2002).

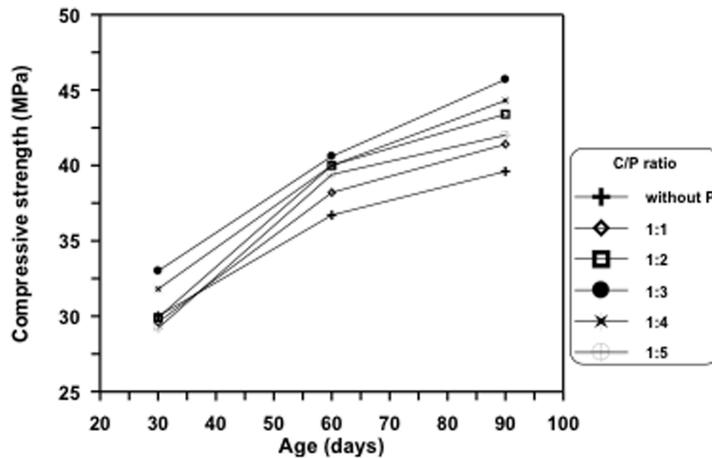


Figura 5. El efecto de poliestireno en la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades (Mansour-Himza, 2002).

También se ha logrado ofrecer una propuesta de un compuesto de yeso con poliestireno expandido (PE) que consiste en mezclar yeso o escayola y agua para constituir pastas que contienen residuos de PE que se moldean como placas y paneles para la construcción. Se ha ensayado con muestras de pastas que van desde aquellas que contienen proporciones extremas de residuos hasta otras donde la presencia de agua para la preparación de las mezclas es inusualmente rica, también se han ensayado mezclas compuestas por proporciones intermedias de sus ingredientes, Los ensayos que se reportaron son para aplicación en placa constructiva: carga máxima a la flexión, resistencia al impacto, absorción de agua por inmersión, reacción al fuego y se determino su masa por unidad de superficie. Para la aplicación de las pastas como paneles aislantes han sido ensayados a la flexión y a la compresión, también se ha determinado su densidad aparente, reacción al fuego y absorción de agua por inmersión total. Las muestras se han caracterizado según las normas correspondientes y después se ha establecido una comparación con elementos similares hoy comunes en la construcción, de esto se permite señalar que con las pastas con residuos de EPS se pueden fabricar placas y paneles con algunas ventajas en relación a los existentes a lo que se le suma el beneficio medioambiental de reciclaje de EPS (Gonzales-Lloveras, 2007).

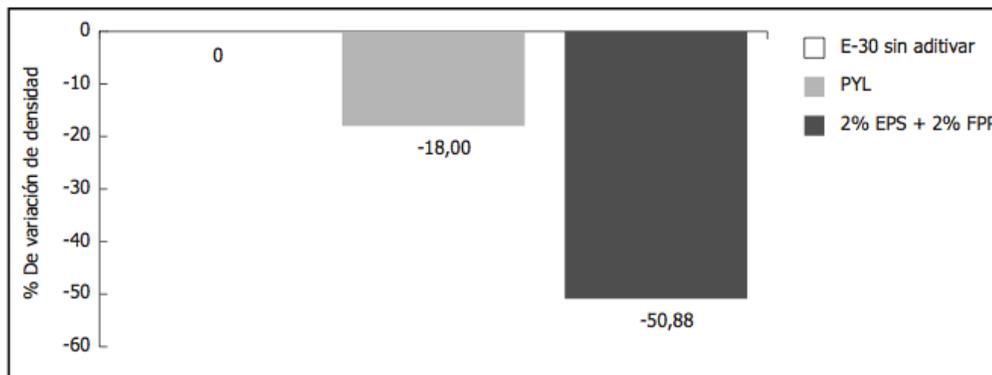


Figura 6. Porcentajes de reducción de peso con respecto al yeso sin ningún tipo de adición. (Gonzales-Lloveras, 2007).

Ozkan Sengula, Senem Azizib, Filiz Karaosmanoglu, Mehmet Ali Tasdemir (2010) Estudiaron el efecto de poliestireno en la conductividad térmica del hormigón ligero En el programa experimental, las mezclas se prepararon mediante la sustitución parcial de agregados naturales por perlita expandida, y como resultado, los pesos unitarios de hormigones ligeros en estado fresco varió entre 700 y 2000 kg/m³. Relación de agua a cemento se mantuvo constante en todas las mezclas. Se determinaron Resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, coeficiente de absorción de agua y la capilaridad. Se obtuvo también la conductividad térmica de las muestras. Los resultados muestran que la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad disminuye con el aumento en el contenido de perlita. Sin embargo la absorción de agua y el coeficiente de capacidad de absorción, aumentan con el contenido de perlita. Los resultados de la prueba indican que la conductividad térmica se mejora sustancialmente con el uso de perlita y se obtiene una fuerte relación entre la conductividad térmica y la unidad de peso.(Sengula, et al. 2010).

Con el objetivo de obtener un concreto ligero y térmico para su aplicación en piezas de mampostería, se utilizó un agregado de bajo costo: poliestireno mezclándose con arena y cemento. El poliestireno proviene de pedecería de desecho, triturado en un molino de cuchillas para obtener un tamaño de partícula menor de 4 mallas. Posteriormente se elaboró una serie de

probetas de poliestireno- arena-cemento Pórtland en molde de bronce de 5 cm x 5cm x 5cm. la mezcla obtenida posee una buena resistencia a la compresión, un excelente aislamiento térmico, bajo porcentaje de absorción de agua, baja densidad y proporciona características ecológicas al proceso de producción de material de mampostería, debido a que al re-usarse un plástico se evita ocupar físicamente en un relleno sanitario el 7% del total de desechos que tardan 450 años en degradarse. Además tiene un impacto económico favorable ya que se obtiene a bajo costo, ayuda a aligerar el peso del material de mampostería. Todo esto nos da características de ecológico y sustentable al producto (Munive-Leal, 2010).

Tabla 3. Resultados experimentales. (Munive-Leal, 2010)

std	run	Poliestireno	Cemento	Arena	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Conductividad Térmica (W/m ² c)	% Humedad	Densidad (Kg/m ³)
12	1	1.77	49.8	48.5	40.4	0.30	3	895
8	2	1.11	49.1	49.8	80.1	0.50	7.5	850
14	3	0.46	49.8	49.8	150	0.80	1	1600
3	4	1.77	49.8	48.5	40.4	0.30	3	895
13	5	3.05	49.5	48.5	8.4	0.20	15.2	695
2	6	0.46	48.4	49.8	150	0.80	1	1600
4	7	1.77	45.9	49.8	40.4	0.30	8.5	897
11	8	1.77	48.4	49.8	40.4	0.30	8.5	897
9	9	2.04	49.5	49	45.8	0.30	9.1	784
1	10	3.06	49	48.5	8.4	0.20	15.2	695
10	11	1.11	48.5	49.1	81.4	0.50	2.5	852
7	12	2.41	49.8	49.1	37.1	0.20	9.9	655
6	13	1.56	49.4	49.1	60.5	0.40	2.9	1189
5	14	2.41	49.1	48.5	37.1	0.20	9.9	660

2.2 CEMENTO TIPO PORTLAND.

2.2.1 DEFINICIÓN

Mezcla de arcilla molida y materiales calcáreos en polvo, que al contacto con el agua se aglutina y endurece , se utiliza como aglutinante y adherente en la construcción.

2.2.2 CEMENTO PORTLAND TIPO I

De uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales.

2.2.3 DESCRIPCIÓN

El cemento portland Tipo I es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de clinker Tipo I y yeso que le brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

2.2.4 PROPIEDADES

Mayor resistencia inicial Debido a su óptima formulación el cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas y menores tiempos de fraguado.

2.2.5 ALMACENAMIENTO

El cemento debería de ser almacenado en un lugar fresco, protegido de la intemperie en empaques adecuados a las condiciones climáticas que protegerán al cemento de la humedad y minimizara el deterioro por almacenamiento.

2.2.6 EMPAQUE

El cemento será recibido en el empaque original de la fabrica (bolsa de papel) cuando el cemento sea embolsado, deberá tener un contenido neto de 50kg.

2.3 CONCRETO CELULAR

De acuerdo con el ACI 523.4R-09, el concreto celular se define como un producto ligero a base de cemento Portland, cemento con arena sílica, cemento puzolánico, pastas de sílica y limo o pastas que contienen mezcla de estos ingredientes y tienen una estructura celular, lograda mediante químicos formadores de gas o agentes de espuma (ACI, 2009, p.2). Es un material de peso ligero que contiene aire estable o celdas de aire uniformemente distribuidas a través de la mezcla en un volumen mayor del 20%. Las celdas de aire se añaden a la mezcla como espuma estable preformada ó a través de un aditivo dentro de la mezcla (D'Annunzio, 2007). En la Figura 2 se observan las cavidades originadas por las burbujas de aire.



Figura 7. Cavidades del mortero celular originadas por burbujas de aire (D'Annunzio, 1963).

Algunas empresas suelen añadir a los concretos celulares fibras de polipropileno como nos dice la empresa BUINY (Bufete de Ingeniería de Yucatán): El uso de este elemento se hizo imprescindible en el concreto celular, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias al uso de la fibra de polipropileno. De estas fibras deben usarse las del tipo de segunda generación, es decir las que forman una malla tridimensional de refuerzo con el fin de evitar los problemas de

curado, por otro lado, los productos de concreto celular prefabricados son más susceptibles mientras ganan buena parte de su resistencia, por lo que al moverlos entre el tercero y sexto días son susceptibles a despieces, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes, además se ha demostrado que el uso de la fibra aumenta la resistencia a la tensión en un 10% y a compresión en un 6%.

El concreto celular se puede clasificar en tres tipos de densidades:

Mortero Celular. Se compone de cemento, arena, agua y espuma, teniendo una densidad entre: 350 kg/m³ y 1000 kg/m³. Este tipo de producto es especial para rellenos fluidos, protecciones térmicas y acústicas y sobre todo, en la fabricación de bloques divisorios prefabricados (Cellular Concrete LLC, 2005).

Concreto Aligerado Celular. Está compuesto de la misma manera que el mortero celular, su densidad varía entre 1100 kg/m³ y 1400 kg/m³ (Cellular Concrete LLC, 2005). Su principal aplicación es en muros de carga, prefabricados en general y colados en sitio con fines estructurales

El concreto celular es recomendable para:

El clima cálido, ya sea húmedo o seco, con invierno templado y verano demasiado caliente. En estos lugares debe evitarse el empleo de materiales pesados que propicien la acumulación de calor hasta un nivel que imposibilite su enfriamiento. Es por ello que los habitantes de las zonas desérticas han recurrido a lo largo del tiempo a viviendas construidas con materiales ligeros, como el celular, que evita la penetración del calor (De Ayala, 1998).

Acumulación de calor interior evitando su enfriamiento. El concreto aireado se encuentra entre los materiales más térmicos debido a las celdas de aire que lo conforman (De Ayala, 1998).

El concreto aireado se emplea de dos maneras:

Precolado. Se utiliza para la elaboración de paneles para muros, losas de azotea y de entrepiso, y bloques para la construcción, los cuales se pueden producir con cualquiera de los métodos de fabricación del concreto celular.

Colado en sitio. Para el caso que se requiera colado en elementos estructurales y rellenos, donde el curado se realiza al aire libre.

2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR

2.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO.

Existen diferentes formas de evaluar el grado de aislamiento térmico del concreto, como por ejemplo la evaluación del coeficiente “K” de transmisión de calor, análisis de la resistencia térmica y la capacidad de reflejar luz solar que tiene una superficie (albedo). Los métodos más comunes para evaluar el aislamiento térmico en el concreto es por medio de la evaluación del coeficiente K de conductividad térmica y la resistencia térmica.

El coeficiente K en el concreto celular es relativamente alto y se hace mayor ó menor en razón inversa a la densidad del material. La razón de esta propiedad es debido a que las cavidades llenas de aire permiten se lleve a cabo la conductividad térmica de manera intermitente, pues los vacíos del concreto no se encuentran conectados entre sí.

Dependiendo de la capacidad térmica de los materiales escogidos para la construcción, como lo puede ser el block, ladrillo, adobe, madera o concreto celular, será la cantidad de calor que tendrá en el interior. La capacidad térmica de los materiales para construir una vivienda es importantísima para mantener confortable el inmueble, ya que las bajas temperaturas podrían penetrar fácilmente en losas, paredes y muros, por lo que el -valor “K”- que tengan los elementos constructivos es trascendental para que no se congele durante el invierno o el lo contrario se calienten demasiado en verano.

El -valor k- indica el grado de resistencia de los materiales al flujo tanto del frío como del calor, entre mayor sea el valor, habrá más efectividad de aislamiento en el material, en la tabla 4 se muestran valores de K de ciertos tipos de concretos.

Tabla 4. Valores de conductividad y resistividad térmica de diferentes tipos de concreto ligero (Concretas Celulares Ltda., 2009).

Tipo de concreto	Valor de K (Kcal/m.h.oC)	Valor de 1/K (m.h.oC/Kcal)
Residuos de hulla	0.31	3.23
	0.50	2.00
	0.56	1.78
Arcilla expandida	0.25	4.00
	0.30	3.33
Cenizas sintetizadas en polvo pómez	0.29	3.45
	0.16	6.26
	0.25	4.00
	0.29	3.45
Vermiculita	0.14	7.15
	0.19	5.26
Perlita	0.10	10.00
	0.19	5.26
Concreto celular	0.07	13.88
	0.09	10.75
	0.12	8.06
	0.17	5.89
	0.22	4.55
Concreto sin finos(con grava)	0.72	1.39
	0.81	1.24
Concreto sin finos(con residuos de hulla)	0.40	2.50
	0.48	2.07
Concreto compacto	1.24	0.81
Tabique de barro cocido	1.12	0.89
Material de peso ligero pero enlucido	0.10	10.00
	0.11	9.09
	0.16	6.25
	0.17	5.89
	0.22	4.55
Yeso compacto	1.00	1.00

El confort térmico se define en la norma ISO 7730 como “ Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. En la Tabla 5 muestra los limites superior e inferior de confort térmico de los climas mas comunes en México.

Tabla 5. Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México. (Romero, 2010)

clima	Límite inferior de confort (°c)	Límite superior de confort (°c)
Cálido seco	26.2	31
Cálido húmedo	27.1	30
Templado	23.2	29.3
frio	20.9	27.6

2.4.2 ABSORCIÓN DEL AGUA.

Los concretos ligeros, debido a su porosidad, tienen una mayor absorción que los concretos ordinarios. Es por ello que no se exponen a la intemperie sin antes utilizar una capa protectora adecuada.

La experiencia en países Europeos, como en Suecia, demuestra que el concreto aireado se comporta de manera satisfactoria bajo la lluvia si se tiene un recubrimiento exterior simple como la pintura, excepto en condiciones severas. Si se quiere aplicar el concreto celular en condiciones extremas es conveniente utilizar un aplanado en los muros exteriores para así evitar la absorción (De Ayala, 1998).

Dado que el concreto aireado tiene una elevada absorción del agua, la velocidad de penetración de ésta a través del concreto es lenta porque los poros grandes no se llenan por succión (Neville, 2000). Sin embargo no es conveniente someter al concreto a exposiciones severas de humedad, pues a medida que aumente la humedad en el concreto celular, mayor será su conductividad térmica.

2.4.3. AISLAMIENTO ACÚSTICO.

El sonido es una forma de energía y como tal se le puede medir con instrumentos físicos. El factor de reducción de sonido es la relación de la energía del sonido en su origen en la energía del mismo en cualquier otro lugar y se expresa en decibeles (dB) transmisión del sonido a través de un muro puede ser tolerable a cierta frecuencia pero intolerante a otra.

Casi todas las estructuras proporcionan un mejor aislamiento a frecuencias altas que a bajas y los mayores huecos son generalmente mejores para altas frecuencias que los muros sólidos de mismo peso, pero no son mejores para frecuencias bajas. La efectividad de los muros sólidos para reducir el sonido transmitido es proporcional al peso del muro, es decir, entre más liviano sea un muro más propiedad acústica proporciona, teniendo en cuenta la construcción de huecos grandes y distribución uniforme de vacíos con esto se garantiza aislar las frecuencias altas y bajas. Una de las ventajas del “concreto celular” sobre materiales más densos es la absorción inherente que se proporciona en las cavidades, es decir, el concreto celular da un efecto de colchón de absorción del sonido, o se a un atenuante oportuno del sonido que se utiliza en muros divisorios o de fachada.

Debido al colchón de aire generado en el interior del material, éste nos ofrecerá una gran resistencia a los provenientes del exterior, además de ayudarnos a impedir o disminuir la transmisión del sonido entre áreas interiores.

El objetivo del mejoramiento acústico de un recinto es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno de la sala. Fue emprendido por primera vez, por el profesor W. C. Sabine en 1895 y su aportación puede resumirse en:

Las propiedades acústicas de una sala están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos, la

proporción de sonido absorbido está ligado al tiempo que un sonido emitido en la sala desaparezca después de suprimir el foco sonoro.

2.4.4. DURABILIDAD.

La durabilidad de un material se define como la capacidad que tiene para resistir los efectos de los agentes del medio que los rodea. Estos se pueden interpretar como los ataques químicos y los esfuerzos físicos. El concreto celular no posee una resistencia especial a los ataques químicos como agua freática, corrosiva, ambiente contaminado y escurrimiento. Por el contrario, debido a que es más poroso que los concretos convencionales es más vulnerable. Es por ello la necesidad de utilizar un aditivo hidrófugo especial para permitir el uso del concreto celular en zona donde este expuesto. El ataque químico del aire no es significativo a excepción de que se utilice en medios corrosivos y/o contaminados. (Concretos Celulares Ltda., 2004).

Los esfuerzos ocasionados debido a la contracción del concreto por secado o a movimientos térmicos diferenciales entre materiales de distinta clase, o bien otros fenómenos de la naturaleza semejantes, no ocasionan agrietamiento en el concreto celular, esto debido a la cantidad de agua que posee. Los daños mecánicos pueden resultar de la abrasión o impacto, pero pueden también provenir de una carga excesiva en miembros sujetos a condiciones de esfuerzo, sin embargo, se puede llegar a reducir utilizando agregados como fibras de propileno especiales para concreto celular. Otro aspecto importante es el uso de varillas con alto grado de corrosión, ya que ocasiona descascaramiento del concreto celular. El acero de refuerzo debe tratarse remojándolo en un líquido anticorrosivo adecuado como soluciones bituminosas y resinas epóxicas (Neville, 2000).

2.4.5 TRABAJABILIDAD.

Gracias a la incorporación del aire incluido se puede obtener una mejor trabajabilidad en el concreto o mortero. Estos son efectivos principalmente en mezclas pobres (de bajo contenido de cemento) que de otra manera serían

ásperas y difíciles de trabajar. En un estudio (D'Annunzio, 2007), una mezcla con aire incluido producida con agregado natural, 3% de aire y revenimiento (asentamiento) de 37 mm presentó la misma trabajabilidad que un concreto sin aire incluido con 1% de aire y asentamiento de 75 mm, a pesar que menos cemento fuese necesario en la mezcla de aire incluido. La trabajabilidad de las mezclas con agregados angulares y granulometría pobre se mejora de manera similar.

Debido a la mejora de la trabajabilidad con la incorporación de aire, se puede reducir considerablemente el contenido de agua y arena como nos lo muestra la figura 8.

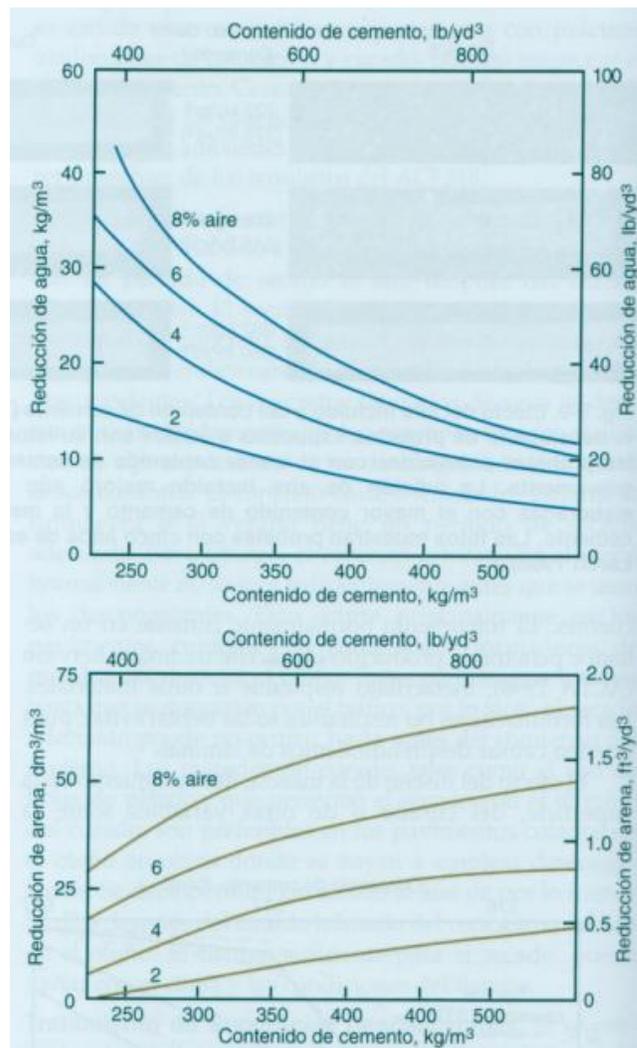


Figura 8. Relación entre el contenido de agua y el contenido de arena obtenidos de varios niveles de contenidos de aire y cemento (Gilkey, 1985).

2.4.6. MANEJABILIDAD

El concepto espumado es ideal para colarse en sitio, ya que resulta difícil añadir la espuma en la mezcla. Los agregados seleccionados se colocan en la mezcladora de la misma manera que se hace con concreto normal, pero con la diferencia de que se sustituye cierto porcentaje de agregado por celdas de aire que se ingresan por medio de espuma preformada. El concreto celular espumado, especialmente sin agregado grueso, es bombeable y fácilmente trabajable por lo que facilita la elaboración de prefabricados como paneles de losa para entrepiso y azoteas entre otras instalaciones donde la presión del concreto en estado húmedo es relativamente baja.

2.4.7. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a compresión del concreto celular se puede ver afectada por factores como el peso volumétrico, contenido de cemento, relación de agua-cemento, propiedades de los agregados y el curado. Cada proveedor de aditivo y equipo para producir espuma proporcionan tablas de referencia para dosificar concretos con una variedad de densidades y resistencias utilizando sólo la arena y cemento. En la tabla 6 se presentan las dosificaciones realizadas por Cellular Concrete LLC utilizando la combinación de agregado y cemento.

Tabla 6. Densidades y resistencias del concreto celular elaborado con espuma preformada (Cellular Concrete LLC, 2009).

Densidad húmeda		Densidad seca		Resistencia (28 días)	
lb/ft ³	Kg/m ³	lb/ft ³	Kg/m ³	lb/in ²	Kg/cm ²
90	1441.661	85	1361.569	400-500	28.12278-35.15348
95	1521.753	90	1441.661	720-1000	52.73022-70.30696
100	1601.846	95	1521.754	1000-1500	70.30696-105.4604
105	1681.963	100	1601.846	1500-2000	105.4604-140.6139
110	1762.952	105	1681.938	2000-2500	140.6139-175.7674
115	1842.123	110	1762.031	2500-3000	174.7674-210.9209
120	1922.215	115	1842.123	3000-3500	210.9209-246.0744
125	2002.308	120	1922.215	3500-4000	246.0744-281.2278

Cuando el contenido de aire se mantiene constante, la resistencia del concreto o mortero varía inversamente con el aumento de la relación agua-cemento. En la gráfica 6 se muestra una relación típica entre la resistencia a compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para un concreto que tiene el contenido de aire adecuado. A medida que el contenido de aire aumenta, normalmente se puede conservar la misma resistencia, si se mantiene constante la relación vacíos (aire + agua) – cemento, pero esto puede requerir un aumento del contenido del cemento (PCA, 2004)

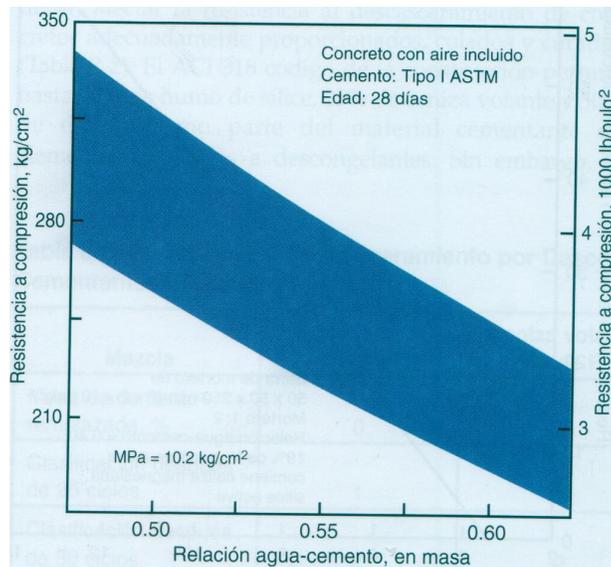


Figura 9. Relación entre resistencia a compresión a los 28 días y la relación agua-cemento.

Por otro lado, los concretos y morteros con aire incluido pueden tener menor relación agua-cemento que los concretos sin aire incluido, que minimiza los efectos de la reducción de la resistencia que generalmente acompañan la incorporación de aire. En la figura 10 nos muestra que con una relación agua-cemento constante, el aumento de aire va a reducir la resistencia proporcionalmente.

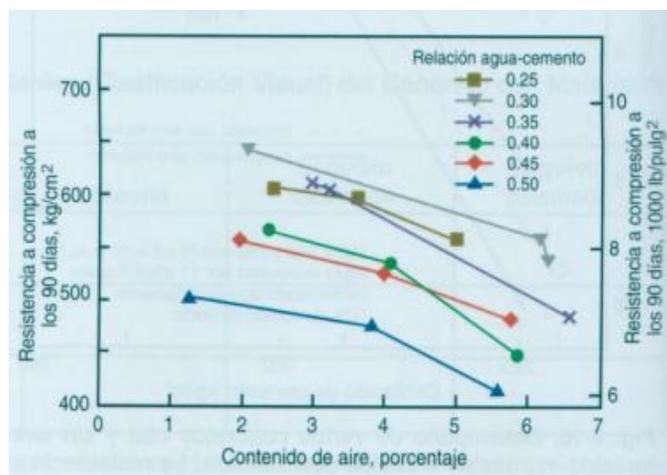


Figura 10. Relación entre la resistencia a compresión a los 90 días y el contenido de aire (Pinto y Hover, 2001).

En el trabajo de Pinto y Hover (2001) un concreto con 45 de contenido de aire tuvo una disminución de la resistencia de 100 kg/cm². Para poder mantener una resistencia constante, si este concreto se tuvo que bajar 0.14 la relación agua- cemento.

2.4.8. DENSIDAD.

Como se puede observar la resistencia a compresión aumenta a medida que la densidad del concreto aumenta, sin embargo, es posible aumentar las resistencias y reducir el peso del concreto si se utiliza un curado de autoclave. Dependiendo de sus densidades y resistencias es la aplicación que se le puede dar al concreto espumado. En la Tabla 7 se exponen los diferentes tipos de aplicaciones en la industria de la construcción de acuerdo a la densidad

Tabla 7. Aplicaciones del concreto celular con espuma preformada dependiendo de la densidad (Concretos Celulares Ltda., 2009).

Densidad promedio (Kg/m ³)	Aplicaciones
350-600	Para entresijos y entre techos como aislante térmico y acústico.
800-1000	Para prefabricados no portantes, bloques y aislamientos térmicos.
1100-1200	prefabricados portantes para pisos.
1400-1600	Usos estructurales, moldes en sitio y premoldeados.
1800	Apto para todo tipo de usos estructurales.

2.5. COMPARACIÓN ENTRE UN MORTERO NORMAL Y UNO LIGERO.

En la parte física podemos decir que el concreto o mortero ligero:

- Puede llegar a ser 4 veces más aislante del sonido (insonoro) que el concreto o mortero convencional.
- El concreto o mortero ligero puede llegar a ser 6 veces más aislante térmico que el concreto normal.
- El concreto o mortero ligero tiene una vejez igual al concreto normal.
- El concreto o mortero ligero llega a fundir a 1100°C, el concreto normal desde: 600oC.
- El concreto o mortero ligero es igual de resistente a los sulfatos que el concreto normal.
- El concreto o mortero ligero puede llegar a pesar hasta la quinta parte de un concreto convencional.
- Un obrero rinde más colocando unidades grandes de concreto o mortero ligero que colocando unidades pequeñas fabricadas con concretos normales.

Un obrero utiliza menor mortero de pega colocando unidades de concreto o mortero ligero que cualquier otro sistema. La reducción de carga muerta es considerable, en un edificio de 5 pisos cada piso con un área de 200m², se ha demostrado que la cimentación podría reducirse en un 25% representando esto en un ahorro total de la construcción hasta de un 35%. Tratándose de un concepto "nuevo" de aplicaciones y mezclas de concretos o morteros no tradicionales; deberá considerarse que en la producción de un m³ deberá tenerse en cuenta el importantísimo factor de densidad por Kg/m³; de masa al final de la mezcla. Las miles de burbujas incluidas, no solamente expanden la mezcla si no que también cambia las densidades radicalmente. La aplicación de las diferentes densidades del concreto o mortero ligero; es un espacio reservado a la ingeniería, la imaginación; y; las pruebas en campo. (BUINY, 2009)

III. METODOLOGÍA

En este capítulo realizaremos pruebas de laboratorio para obtener las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes especímenes que serán probados, teniendo en cuenta sus dosificaciones y la edad a la que serán sometidos a las pruebas . Para ello se tendrá que realizar la caracterización de nuestro mortero base y de cada una de las dosificaciones que se realicen, y así al final de todos nuestros resultados, podremos elegir entre las mezclas realizadas la que tenga el mejor balance entre las 3 características que estamos buscando que son un adecuado comportamiento estructural, térmico y acústico, la mejor para realizar un mortero de baja densidad y poderlo utilizar como aislante térmico, acústico y al mismo tiempo nos genere un buen comportamiento estructural.

Al realizar nuestros especímenes y pruebas de laboratorio tenemos que tener en cuenta la forma en que se realiza cada una de éstas, así como las condiciones y las características de los materiales que conformaran nuestro mortero, la forma que éstos se añaden a la mezcla y el comportamiento que tienen al momento de entrar en contacto unos con otros. La facilidad y la manejabilidad para realizar las mezclas, serán muy importante para determinar si es un producto que se pueda llevar a la industria de la construcción así como su bajo costo.

Las pruebas experimentales se desarrollarán bajo las normas y los reglamentos establecidos por la ASTM, utilizando en cada una de las pruebas, el equipo manual y mecánico que se encuentra estandarizado dentro de dicho reglamento.

La planificación de la metodología para el desarrollo de esta tesis contempla labores de investigación documental y de campo, además de trabajo experimental. La metodología usada se puede simplificar en tres etapas:

Investigación preliminar
Propuesta de soluciones
Trabajo experimental

3.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Aquí se realiza una recolección de información y una revisión crítica de los temas fundamentales del problema. Los elementos básicos se dividen en dos grupos que se retroalimentan constantemente a lo largo de la investigación:

ELEMENTOS GENERALES

Tienen como fin ampliar la comprensión del investigador acerca de la problemática del medioambiente y en la cual se ha de insertar cualquier propuesta que resulta de esta investigación.

ELEMENTOS ESPECÍFICOS

Es información principalmente de carácter científico técnico y del estado del arte que permite al investigador realizar la tesis propiamente dicha, en esta primera etapa se cumplieron actividades que permitieron obtener, organizar y analizar la siguiente información.

3.2 ELEMENTOS GENERALS

Problemática medioambiental

El pensamiento medioambiental

- Sostenibilidad
- Gestión medioambiental de residuos
- Residuos municipales (RM)
- Sistemas de recogida, transporte y clasificación de los RM
- Estado de la industria
- Consumos y sectores de aplicación por tipo de plástico Reciclaje

- Recolección y recogida de los residuos plásticos
- Tecnologías para la recuperación y reciclaje de plásticos
- Patentes sobre técnicas de reciclaje de plásticos y productos de plásticos reciclados

3.3 ELEMENTOS ESPECÍFICOS

- Tipos de espuma de plástico
 - Formación de las espumas de plásticos
 - Características de las espumas de plástico
 - Espuma de poliestireno expandido EPS
 - Proceso de fabricación de la espuma de EPS
 - Propiedades y aplicaciones de la espuma de EPS
 - Estado que guarda la industria del EPS
- De forma especial se ha profundizado en los siguientes temas relacionados con la espuma de EPS.
- Aplicaciones de la espuma de EPS en la construcción
 - Manejo de los residuos de espuma de EPS
 - Procesos de recuperación y reciclaje de la espuma de EPS
- Dadas las características de la propuesta de este trabajo se ha investigado acerca de:
- Materiales plásticos en la construcción
 - Agregados de plástico en la construcción
 - Conglomerantes hidráulicos en la construcción

3.4 PROPUESTAS DE SOLUCIONES

Con un cuerpo de información apreciable, nos dimos a la tarea de organizar y analizar la información obtenida, para después desarrollar las conclusiones que le han permitido producir un flujo de ideas a nivel de conceptos

sobre posibles soluciones al problema. Las propuestas se evaluaron y depuraron en base a su viabilidad e importancia, lo que ha resultado en dos conceptos a desarrollar y estudiar por medios experimentales: una mezcla donde se adiciona poliestireno expandido.

3.5 TRABAJO EXPERIMENTAL

La etapa experimental se llevó a cabo en tres fases:

- Trabajos previos a la experimentación
- Etapa general
- Etapa final

3.5.1. TRABAJOS PREVIOS A LA EXPERIMENTACIÓN

3.5.1.1. RECOLECCIÓN DEL MATERIAL

Las espumas de EPS, al momento de ser depositados en los contenedores de residuos, muestran tamaños y formas que por su heterogeneidad dificultan su integración en elementos constructivos con formas laminares como son las placas o los paneles; esto significa que tienen que ser modificados para su aprovechamiento de las maneras que busca esta investigación.

Aquí se exploran una alternativa de transformación de los residuos:

Utilizar residuos de poliestireno triturados.

Durante los trabajos preparatorios hacia la experimentación se plantearon dudas acerca de la viabilidad de esas alternativas, de entre ellas dos sobresalieron por su importancia:

Una vez colectados los residuos de poliestireno ¿como se convertirían esos materiales en cuerpos aprovechables dadas las aplicaciones del proyecto?

Si se usan residuos molidos ¿qué características tienen esos materiales?.

Se considera que dada la escasa información disponible, la mejor manera de responder a esas preguntas sería a través del trabajo directo sobre los residuos por lo cual se decidió practicar un experimento, mismo que se describe a continuación.

3.5.1.2. TRITURADO DEL MATERIAL

Esta alternativa consiste en el triturado de los residuos de espuma de EPS hasta reducirlos a pequeños cuerpos, que serán integrados a las mezclas que formarán los elementos constructivos. El corte se puede hacer por medio de una licuadora, dejando que muele los trozos que introducimos hasta llegar a un rango de 2mm de diámetro aproximadamente.



Figura 11. Triturado del poliestireno por medio de licuado.

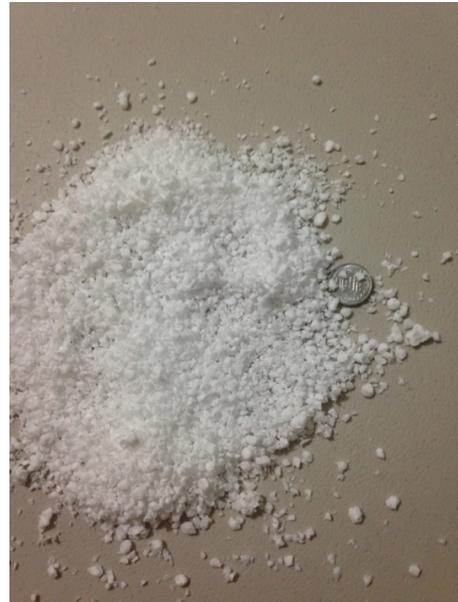


Figura 12. Poliestireno triturado seco y listo para ser utilizado como agregado con un diámetro de 2mm.

3.5.1.3 MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

3.5.1.3.a MATERIAL

Debido a que las características del triturado del poliestireno que se usara en el experimento y que pueden afectar las aplicaciones que se buscan en este proyecto, resulta importante determinar algunas de sus particularidades como:

- Su limpieza
- Tamaño de las partículas
- Proporciones de las mezcla

la única información con la que contamos es que los residuos tienen una procedencia, de embalajes de electrodomésticos y artículos de computo.

3.5.1.3.b EQUIPO

Para la realización de este experimento se usó el siguiente equipo:

- Licuadora convencional con baso de 2 lts
- Navaja
- Colador
- Baso de precipitado de 1lt
- Regla de metal de 30cm
- Par de mallas #10 y #12

3.5.2.3.c PROCEDIMIENTO

La trituración e identificación de residuos se llevo acabo siguiendo los siguientes pasos.

1. Se cortan los residuos de poliestireno en pequeñas partes para poder introducirlos en el baso de la licuadora.

2. Se introducen los trozos de poliestireno al baso y se le agregan 500 ml de agua para facilitar su triturado, se enciende la licuadora hasta tener un triturado uniforme.

3. Se saca el material del baso y se pone directamente en un colador para eliminar la mayor cantidad de agua.

4. Una vez triturado y colado el material se dejo por 2 días secando al sol por las condiciones climáticas de Querétaro nos es suficiente para que el material pierda todo su contenido de humedad.

5. Ya seco el material lo hacemos pasar por la malla numero 10 y 12 y el material que quede entre estas 2 será el que utilizaremos para nuestras pruebas que aproximadamente es de 2mm

6. Almacenar el material en un recipiente donde donde el material no se exponga a agentes contaminantes

3.5.1. ETAPA GENERAL

3.5.2.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE MEZCLAS

3.5.2.1.a. DESCRIPCIÓN

La experimentación es una de las partes de mayor importancia de esta tesis; una vez terminados los trabajos previos que se expusieron en el subcapítulo anterior, se procede ahora a la primera etapa experimental.

En esta etapa se ensaya con una amplia variedad de mezclas de residuos de Poliestireno. Entre todos nos permiten disponer de numerosos modelos los cuales aportan información básica acerca de sus características en diferentes proporciones, que más adelante se ha de usar para facilitar la toma de decisiones acerca de cuales entre todas las mezclas ensayadas, son las más

adecuadas para las aplicaciones que se proponen en esta tesis.

También se fabrican un modelo de mezclas formulada únicamente con cementante y agua que tienen como función principal la de servir de material de referencia o de comparación contra las otras mezclas.

3.5.2.1.b.OBJETIVOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Con base a experiencias anteriores y sumadas a las que se producen en esta etapa, se busca lograr un conjunto de conocimientos acerca de las mezclas ensayadas que permite seleccionar a las mejores mezclas de acuerdo a las aplicaciones propuestas en esta investigación.

5.1.1.2.c OTROS OBJETIVOS

Observar el comportamiento de los residuos de espuma cortados o molidos durante la fabricación de las muestras.

Observar los comportamientos en la impregnación de los residuos, de fraguado y endurecido de las mezclas.

3.5.2.2 MANEJO DE MEZCLAS

En la tabla 8 manejamos las distintas mezclas con la que trabajaremos se realizaran 9 especímenes de cada proporción para sus respectivas pruebas

Tabla 8. proporcionamiento de mezclas.

Mezcla nombre	Proporción de cemento %	Proporción poliestireno %
D1	100	0
D2	90	10
D3	80	20
D4	70	30
D5	60	40
D6	50	50
D7	40	60
D8	30	70
D9	20	80

3.5.2.2.a ELABORACIÓN DE MEZCLAS

3.5.2.2.a.1 MATERIAL

Los materiales utilizados en cada una de las mezclas fueron:

- Cemento Portland (marca Tolteca)
- Agua limpia.
- Poliestireno (triturado) diámetro 0.2 cm

3.5.2.2.a.2 EQUIPO MANUAL

Para la realización de las diferentes mezclas se contó con el siguiente equipo manual de laboratorio.

• 3 moldes cúbicos de 5 cm. por lado, estandarizados en las normas ASTM. charola para la realización del mezclado.

• cucharas y espátulas para la realización del mezclado.

• cucharón.

• varilla punta de bala, para el compactado.

• engrasador de moldes.

• probeta 100 ml.

• cuarto de húmedo

3.5.2.2.a.3 EQUIPO ELÉCTRICO

- Báscula digital, precisión: décimo de gramo.
- Cámara digital.
- vernier electrónico

3.5.2.3 DESARROLLO DE MEZCLA

Primer paso: pesado de los materiales

- Pesar cantidad de cemento(Figura 13)



Figura 13. Báscula digital, utilizada para pesar el cemento(Foto tomada en la UAQ).

- Pesar cantidad de poliestireno. (Figura 14)

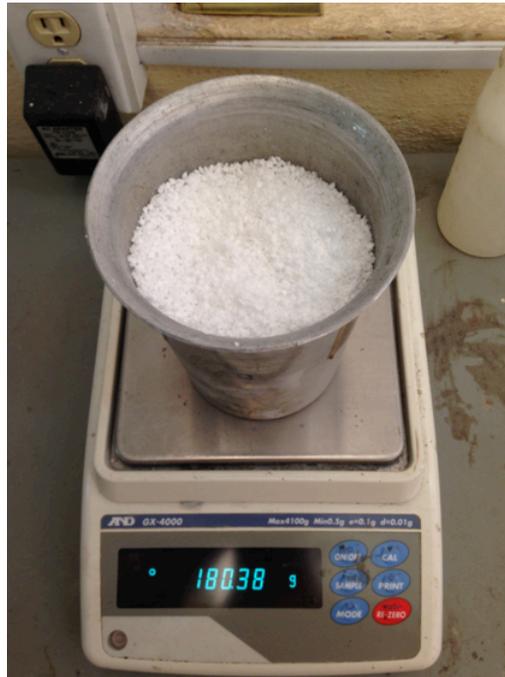


Figura 14. Báscula digital, utilizada para pesar el poliestireno (Foto tomada en la UAQ).

- Medir la cantidad de agua. (Figura 15)



Figura 15. Probeta 1000 ml. utilizada para medir el agua (Foto tomada en la UAQ).

segundo paso: engrasado de moldes

- Engrasado de molde de 5x5x5. (Figura 16)



Figura 16. Moldes cúbicos de 5 cm por lado engrasados (Foto tomada en la UAQ).

tercer paso: mezclado de materiales

- Se tendrá la charola limpia para el mezclado. (Figura 17)



Figura 17. Charola, cucharon y espátula para mezclado del material (Foto tomada en la UAQ)

- Se vaciará la cantidad previamente pesada de cemento. (Figura 18)



Figura 18. Charola con el cemento (Foto tomada en la UAQ).

- Se vaciará la cantidad previamente pesada de poliestireno triturado. (figura 19)



Figura 19. Se agregará poliestireno al cement(Foto tomada en la UAQ) .

- Se homogenizará el cemento con el poliestireno. (figura 20)



Figura 20. Cemento y poliestireno homogenizado (Foto tomada en la UAQ)

- Se vaciará la cantidad previamente medida de agua limpia. (figura 21)



Figura 21. Agregado del agua al cemento con poliestireno. (Foto tomada en la UAQ).

- Se mezclarán el cemento, poliestireno triturado y el agua, hasta obtener una pasta homogénea. (Figura 22)



Figura 22. Mezcla de las pasta con el poliestireno (Foto tomada en la UAQ).

- Se vaciará la primer parte de la pasta en cada uno de los moldes y se compactará con la varilla punta de bala dando 25 golpes. (figura 23)



Figura 23. Vaciado de pasta y compactado con varilla punta de bala. (Foto tomada en la UAQ)

- Se vaciará la segunda parte de la pasta en cada uno de los moldes y se compactará con la varilla punta de bala dando 25 golpes, al final se enrasará, para obtener una superficie pareja. (Figura 24)



Figura 24. Enrasado de los especímenes (Foto tomada en la UAQ)

cuarto paso: descimbrado y curado

- Descimbrado de los moldes. (Figura 25)



Figura 25. Descimbrado de cubos. (Foto tomada en la UAQ).

Al fraguar los especímenes se procederá a descimbrar nuestros moldes y los especímenes serán llevados al cuarto de curado, para ser curados por inmersión total en agua. (Figura 26)

- Curado de especímenes en cuarto húmedo.



Figura 26. Curado de los especímenes en cuarto húmedo (Foto tomada en la UAQ).

cuarto paso: Peso de especímenes

- Se pesan cada uno de los especímenes. (Figura 27)



Figura 27. Pesado en seco de los especímenes. (Foto tomada en la UAQ).

3.5.3 ETAPA FINAL

En esta etapa ya tenemos nuestros especímenes elaborados y listos para que se le realicen las pruebas experimentales comentadas en la introducción del trabajo que son:

1. Absorción por 24 h
2. Densidad
3. Resistencia a la compresión
4. Absorción acústica
5. Aislamiento térmica
6. Conductividad térmica

3.5.3.a ABSORCIÓN 24h

La prueba de absorción consiste en determinar la cantidad de agua absorbida por el espécimen en 24h. Del peso de la inmersión total de la pieza, según se especifica en la ASTM C67-03^a estándar, restando el peso inicial seco, se obtiene el peso del agua absorbida cuyo porcentaje se da en función del peso seco.

$$\text{absorción} = \frac{W_{24h} - W_S}{W_S} \times 100$$

Donde:

W_{24h} = Peso de agua absorbida después de 24 horas de inmersión en agua fría

W_S = Peso Seco de la Pieza



Figura 28. Cubos sumergidos en agua durante 24 h (Foto tomada en la UAQ).

3.5.3.b DENSIDAD

El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen que se obtiene dividiendo un peso conocido del material entre el volumen que ocupa, llamando p al peso y v al volumen, el peso específico pe ..:

$$pe = p/v$$

3.5.3.c RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE.

La resistencia a compresión del concreto de relleno se determinará del ensaye de cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas NMX-C-160 y NMX-C-083-ONNCCE.

En caso de mortero, se obtendrán como mínimo tres muestras, cada una de al menos tres probetas cúbicas. se ensayarán siguiendo la norma NMX-C-061-ONNCCE.

En caso de concreto de relleno, se obtendrán al menos tres probetas cilíndricas. Las probetas se elaborarán, curarán y probarán de acuerdo con las normas antes citadas.

La resistencia de diseño será

$$f_j^* = \frac{\overline{f_j}}{1 + 2.5 c_j}$$

donde

$\overline{f_j}$ media de la resistencia a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno; y

c_j coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno, que en ningún caso se tomará menor que 0.2.



(29)



(30)

Figura 29 Ensayo a compresión de cubo de 5x5x5 proporción D2. (Foto tomada en la UAQ).

Figura 30 Las grietas paralelas a la carga son causadas por un esfuerzo de tracción localizado en una dirección normal a la carga de compresión. (Foto tomada en la UAQ).

3.5.3.d ABSORCIÓN ACÚSTICA

Partiendo de que podemos decir que el aislamiento acústico es la propiedad que nos expresa el grado de reducción del sonido entre dos recintos separados por un elemento de cerramiento o entre un recinto cerrado y el exterior. Estos materiales o sistemas constructivos evitan el paso del sonido y nos proporcionan un confort fuera del lugar donde se está produciendo el sonido. Vamos a realizar un modelo a escala de un banco de prueba acústico el cual nos permitirá probar cada una de las proporciones que tenemos.



Figura 31 Construcción del banco de pruebas acústicas (Foto tomada en la UAQ)

Para esto fue necesario la realización del banco de prueba que hiciera más sencilla la valoración acústica de las distintas proporciones. Esta caja tiene unas condiciones de insonorización especiales. La caja está construida con MDF (medium density fiberboard) y poliestireno expandido de alta densidad. Debido a las propiedades del sonido y su forma de propagación, esta caja tiene las mismas condiciones en cada uno de sus lados, dos laminas de MDF de 0,012m y entre ellas una lamina de 0,03m de poliestireno expandido, haciendo así más fácil la valoración de absorción acústica de las mezclas.

Al banco de prueba se le realizaron las respectivas pruebas acústicas para conocer su aislamiento acústico (del interior al exterior). La prueba consistía en emitir el sonido 10 veces durante 5 segundos con el sonómetro en

el exterior, y así encontrar los dB máximos del exterior. Para la realización de las pruebas, se adquirió 1 fuente de sonido con frecuencia de 14KH . posteriormente la frecuencia de esta fuente emisora fue grabada dentro del banco de prueba.

Como instrumento de medición para las pruebas se utilizó como instrumento un sonómetro STEREN HER 400. Este instrumento de medición capta de 30 a 130 dB, en dos medidas: alto y bajo, con una precisión de +/- 1.5 dB. (Figura 32)



Figura 32 Banco de pruebas terminado visto en planta (Foto tomada en la UAQ)

IV. DOSIFICACIONES Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 DOSIFICACIONES DE MORTEROS

Se realizó diferentes proporciones para los especímenes en las diferentes pruebas, a una edad de 28 días

- Dosificación D1 : 100% de cemento. (Tabla 9)

Tabla 9. Cantidad de material utilizada para la dosificación D1.

Dosificación D1		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	3.75 Kg	
agua	1.68 L	
poliestireno	0	

- Dosificación D2 : 90% de cemento y 10% de poliestireno. (Tabla 10)

Tabla 10. Cantidad de material utilizada para la dosificación D2.

Dosificación D2		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	3.374 Kg	
agua	1.51 L	
poliestireno	0.0468 Kg	

- Dosificación D3 : 80% cemento, 20% poliestireno. (Tabla 11)

Tabla 11. Cantidad de material utilizada para la dosificación D3.

Dosificación D3		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	2.999 Kg	
agua	1.34 L	
poliestireno	0.0936 Kg	

- Dosificación D4 : 70% cemento, 30% poliestireno. (Tabla 12)

Tabla 12. Cantidad de material utilizada para la dosificación D4.

Dosificación D4		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	2.624 Kg	
agua	1.17 L	
poliestireno	0.1404 Kg	

- Dosificación D5 : 60% cemento, 40% poliestireno. (Tabla 13)

Tabla 13. Cantidad de material utilizada para la dosificación D5.

Dosificación D5		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	2.249 Kg	
agua	1.01 L	
poliestireno	0.1872 Kg	

- Dosificación D6 : 50% cemento 50% poliestireno. (Tabla 14)

Tabla 14. Cantidad de material utilizada para la dosificación D6.

Dosificación D6		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	1.875 Kg	
agua	0.840 L	
poliestireno	0.234 Kg	

- Dosificación D7 : 40% cemento 60% poliestireno. (Tabla 15)

Tabla 15. Cantidad de material utilizada para la dosificación D7.

Dosificación D7		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	1.50 Kg	
agua	0-672 L	
poliestireno	0.2808 Kg	

- Dosificación D8 30% cemento 70% poliestireno. (Tabla 16)

Tabla 16. Cantidad de material utilizada para la dosificación D8.

Dosificación D8		
proporción	cantidad	para 9 cubos
cemento	1.124 Kg	
agua	0.504 L	
poliestireno	0.3276 Kg	

4.2 DENSIDADES POR PROPORCIÓN

se obtuvieron densidades de cada uno de los especímenes, posteriormente se tomo un promedio por proporción.

Tabla 17. Cálculo de densidad del los especímenes D1.

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D1 100-0	1	249.52	125	1996
	2	252.66	125	2021
	3	246.79	125	1974
	4	249.6	125	1997
	5	244.89	125	1959
	6	254.19	125	2034
	7	253.7	125	2030
	8	245.73	125	1966
	9	246.44	125	1972
Densidad promedio				1994

Tabla 18. Cálculo de densidad del los especímenes D2.

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D2 90-10	1	227.94	125	1824
	2	229.94	125	1840
	3	226.07	125	1809
	4	226.2	125	1810
	5	224.27	125	1794
	6	223.76	125	1790
	7	228.83	125	1831
	8	227.94	125	1824
	9	227.94	125	1824
Densidad promedio				1816

Tabla 19. Cálculo de densidad del los especímenes D3

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D3 80-20	1	211.85	125	1695
	2	210.8	125	1686
	3	205.4	125	1643
	4	210.77	125	1686
	5	211.26	125	1690
	6	211.52	125	1692
	7	208.79	125	1670
	8	210.76	125	1686
	9	212.31	125	1698
Densidad promedio				1683

Tabla 20. Cálculo de densidad del los especímenes D4

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D4 70-30	1	191.42	125	1531
	2	192.19	125	1538
	3	189.3	125	1514
	4	190.68	125	1525
	5	189.86	125	1519
	6	195.4	125	1563
	7	194.45	125	1556
	8	190.82	125	1527
	9	188.98	125	1512
Densidad promedio				1532

Tabla 21. Cálculo de densidad del los especímenes D5

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D5 60-40	1	168.05	125	1344
	2	268.42	125	2147
	3	160.13	125	1281
	4	169.43	125	1355
	5	162.78	125	1302
	6	165.3	125	1322
	7	163.66	125	1309
	8	164.5	125	1316
	9	162.72	125	1302
Densidad promedio				1409

Tabla 22. Cálculo de densidad del los especímenes D6

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D6 50-50	1	147.72	125	1182
	2	145.83	125	1167
	3	146.62	125	1173
	4	148.45	125	1188
	5	145.74	125	1166
	6	150.6	125	1205
	7	143.97	125	1152
	8	147.45	125	1180
	9	146.19	125	1170
Densidad promedio				1176

Tabla 23. Cálculo de densidad del los especímenes D7

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D7 40-60	1	131.56	125	1052
	2	146.84	125	1175
	3	132.67	125	1061
	4	125.56	125	1004
	5	132.67	125	1061
	6	122.56	125	0980
	7	122.64	125	0981
	8	132.67	125	1061
	9	136.77	125	1094
Densidad promedio				1047

Tabla 24. Cálculo de densidad del los especímenes D8

Mezcla c/p	Espécimen	Peso(g)	Volumen(cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
D8 30-70	1	116.50	125.00	931
	2	117.54	125.00	944
	3	115.07	125.00	922
	4	110.70	125.00	899
	5	108.75	125.00	873
	6	113.53	125.00	915
	7	116.47	125.00	936
	8	114.14	125.00	913
	9	114.78	125.00	922
Densidad promedio				912.7

Tabla 25. Densidades de todas las dosificaciones

densidad promedio D1 (Kg/m ³)	1994
densidad promedio D2 (Kg/m ³)	1816
densidad promedio D3 (Kg/m ³)	1683
densidad promedio D4 (Kg/m ³)	1532
densidad promedio D5 (Kg/m ³)	1409
densidad promedio D6 (Kg/m ³)	1176
densidad promedio D7 (Kg/m ³)	1047
densidad promedio D8 (Kg/m ³)	913

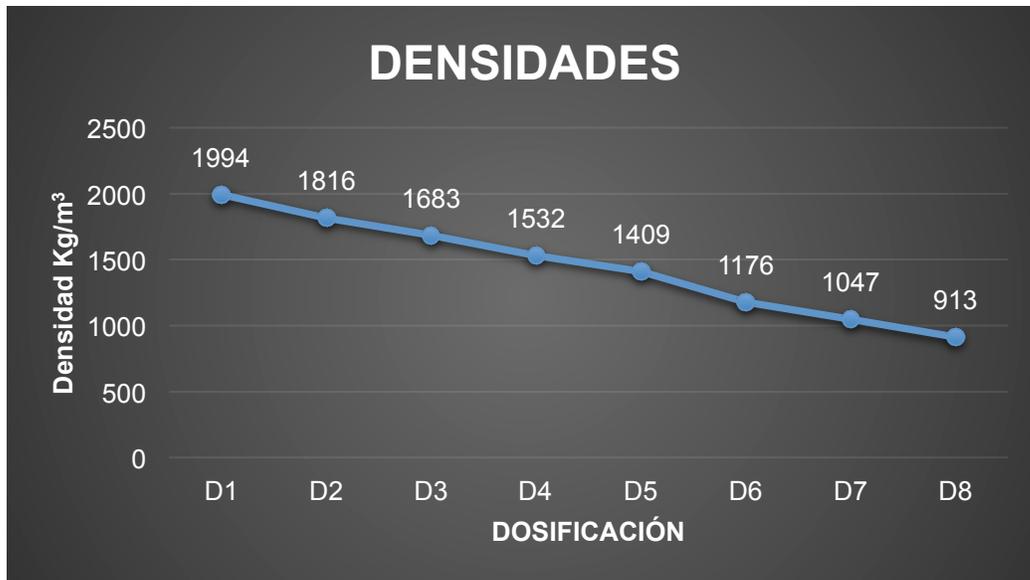


Figura 33. densidad del las dosificaciones.

4.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN POR PROPORCIÓN

Se tomo el porcentaje de absorción de cada espécimen a 24h y posteriormente el promedio de cada dosificación.

Tabla 26. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D1

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D1 100-0	1	249.52	251.06	0.617
	2	252.66	254.16	0.594
	3	246.79	248.37	0.640
	4	249.60	251.05	0.581
	5	244.89	246.32	0.584
	6	254.19	255.62	0.563
	7	253.70	255.13	0.564
	8	245.73	247.22	0.606
	9	246.44	247.93	0.605
			% de abs. Promedio	0.595

Tabla 27. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D2

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D2 90-10	1	227.94	230.5	1.123
	2	229.94	231.5	0.678
	3	226.07	228.62	1.128
	4	226.20	227.83	0.721
	5	224.27	225.82	0.691
	6	223.76	226.34	1.153
	7	228.83	230.39	0.682
	8	227.94	230.51	1.127
	9	227.94	229.39	0.636
			% de abs. Promedio	0.882

Tabla 28. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D3

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D3 80-20	1	211.85	213.98	1.005
	2	210.80	213.34	1.205
	3	205.40	207.77	1.154
	4	210.77	213.18	1.143
	5	211.26	213.59	1.103
	6	211.52	213.79	1.073
	7	208.79	211.32	1.212
	8	210.76	213.04	1.082
	9	212.31	214.83	1.187
			% de abs. Promedio	1.129

Tabla 29. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D4

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D4 70-30	1	191.42	194.43	1.572
	2	192.19	195.29	1.613
	3	189.3	192.86	1.881
	4	190.68	193.96	1.720
	5	189.86	193.9	2.128
	6	195.4	198.53	1.602
	7	194.45	197.58	1.610
	8	190.82	194.85	2.112
	9	188.98	193.11	2.185
			% de abs. Promedio	1.825

Tabla 30. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D5

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D5 60-40	1	169.05	173.79	2.804
	2	168.42	173.43	2.975
	3	170.13	174.7	2.686
	4	171.43	175.9	2.607
	5	172.78	177.8	2.905
	6	169.3	173.7	2.599
	7	169.66	173.94	2.523
	8	174.5	178.78	2.453
	9	172.72	176.87	2.403
			% de abs. Promedio	2.662

Tabla 31. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D6

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D6 50-50	1	147.72	154.15	4.353
	2	145.83	152.48	4.560
	3	146.62	153.39	4.617
	4	148.45	155.39	4.675
	5	145.74	152.25	4.467
	6	150.6	157.13	4.336
	7	143.97	150.81	4.751
	8	147.45	154.2	4.578
	9	146.19	152.78	4.508
			% de abs. Promedio	4.538

Tabla 32. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D7

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D7 40-60	1	114.72	121	5.47
	2	112.45	119.6	6.35
	3	116.53	123.4	5.89
	4	113.44	121.2	6.84
	5	118.54	124.8	5.28
	6	111.72	118.8	6.33
	7	112.52	119.7	6.38
	8	116.58	123	5.50
	9	112.83	120.3	6.62
			% de abs. Promedio	6.081

Tabla 33. Cálculo de porcentaje de absorción del los especímenes D8

Mezcla c/p	Espécimen	Peso seco(g) (WD)	Peso saturado(g) (WS)	% de absorción WD/WS
D8 30-70	1.00	116.50	124.33	6.72
	2.00	117.54	126.33	7.48
	3.00	115.07	124.38	8.09
	4.00	118.70	127.57	7.47
	5.00	108.75	117.15	7.72
	6.00	113.53	122.60	7.99
	7.00	116.47	124.59	6.97
	8.00	114.14	123.00	7.76
	9.00	114.78	123.35	7.47
% de abs. Promedio				7.49

Tabla 34. porcentajes de absorción de todas las dosificaciones

% de absorción promedio D1	0.595
% de absorción promedio D2	0.882
% de absorción promedio D3	1.129
% de absorción promedio D4	1.825
% de absorción promedio D5	2.662
% de absorción promedio D6	4.538
% de absorción promedio D7	6.081
% de absorción promedio D8	7.493

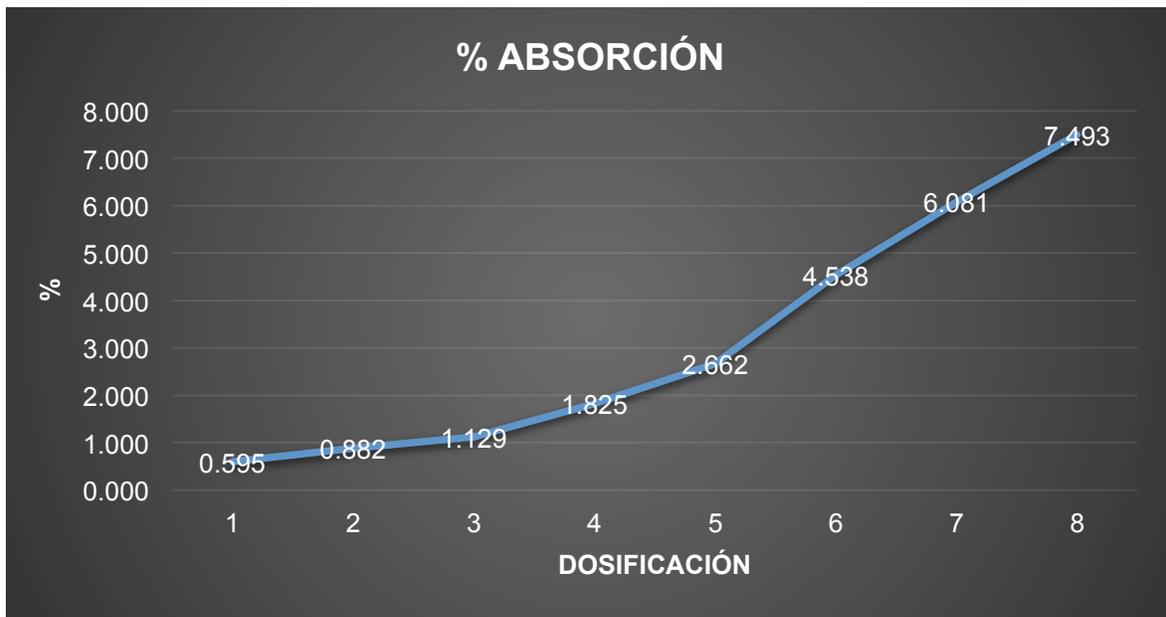


Figura 34. Porcentaje de absorción de las distintas dosificaciones.

4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR PROPORCIÓN

Se probaran a compresión 6 especímenes de cada dosificación y se obtendrá su esfuerzo promedio.

Tabla 35. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D1

Mezcla c/p	Especímen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D1 100-0	1	25	-	-
	2	25	5429.9	217.196
	3	25	-	-
	4	25	6405.9	256.236
	5	25	5749.3	229.972
	6	25	5726.6	229.064
	7	25	-	-
	8	25	5121.2	204.848
	9	25	6042.5	241.700
			Esfuerzo promedio Kg/Cm²	229.836

Tabla 36. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D2

Mezcla c/p	Especímen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D2 90-10	1	25	-	-
	2	25	3293.3	131.732
	3	25	-	-
	4	25	3063	122.520
	5	25	-	-
	6	25	3264.3	130.572
	7	25	3211.5	128.460
	8	25	3721	148.840
	9	25	3606.1	144.244
			Esfuerzo promedio Kg/Cm²	134.395

Tabla 37. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D3

Mezcla c/p	Especímen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D3 80-20	1	25	-	-
	2	25	1652.3	66.092
	3	25	-	-
	4	25	1975.6	79.024
	5	25	1729.5	69.180
	6	25	1952.7	78.108
	7	25	1554.8	62.192
	8	25	1805.5	72.220
	9	25	-	-
			Esfuerzo promedio Kg/Cm²	71.136

Tabla 38. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D4

Mezcla c/p	Espécimen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D4 70-30	1	25	-	-
	2	25	1058.8	42.352
	3	25	1046.8	41.872
	4	25	-	-
	5	25	-	-
	6	25	1135	45.400
	7	25	1186.3	47.452
	8	25	1119.1	44.764
	9	25	1013.4	40.536
Esfuerzo promedio Kg/Cm ²				43.729

Tabla 39. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D5

Mezcla c/p	Espécimen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D5 60-40	1	25	967.85	38.714
	2	25	889.12	35.565
	3	25	-	-
	4	25	946.69	37.868
	5	25	-	-
	6	25	822.21	32.888
	7	25	812.33	32.493
	8	25	-	-
	9	25	996.76	39.870
Esfuerzo promedio Kg/Cm ²				24.155

Tabla 40. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D6

Mezcla c/p	Espécimen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D6 50-50	1	25	803.63	32.145
	2	25	883.38	35.335
	3	25	703.96	28.158
	4	25	708.83	28.353
	5	25	-	-
	6	25	-	-
	7	25	-	-
	8	25	856.24	34.250
	9	25	691.6	27.664
Esfuerzo promedio Kg/cm ²				20.656

Tabla 41. Cálculo de la resistencia a la compresión de los especímenes D7

Mezcla c/p	Especimen	Área(Cm ²)	Carga máxima(Kg)	Esfuerzo (Kg/Cm ²)
D7 60-40	1	25	-	-
	2	25	640.01	25.600
	3	25	602.04	24.082
	4	25	670.31	26.812
	5	25	-	-
	6	25	625.17	25.007
	7	25	581.32	23.253
	8	25	-	-
	9	25	570.48	22.819
			Esfuerzo promedio Kg/Cm ²	16.397

Tabla 42. Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones

Resistencia promedio D1 (kg/cm ²)	229.836
Resistencia promedio D2 (kg/cm ²)	134.395
Resistencia promedio D3 (kg/cm ²)	71.136
Resistencia promedio D4 (kg/cm ²)	43.729
Resistencia promedio D5 (kg/cm ²)	24.155
Resistencia promedio D6 (kg/cm ²)	20.656
Resistencia promedio D7 (kg/cm ²)	16.391

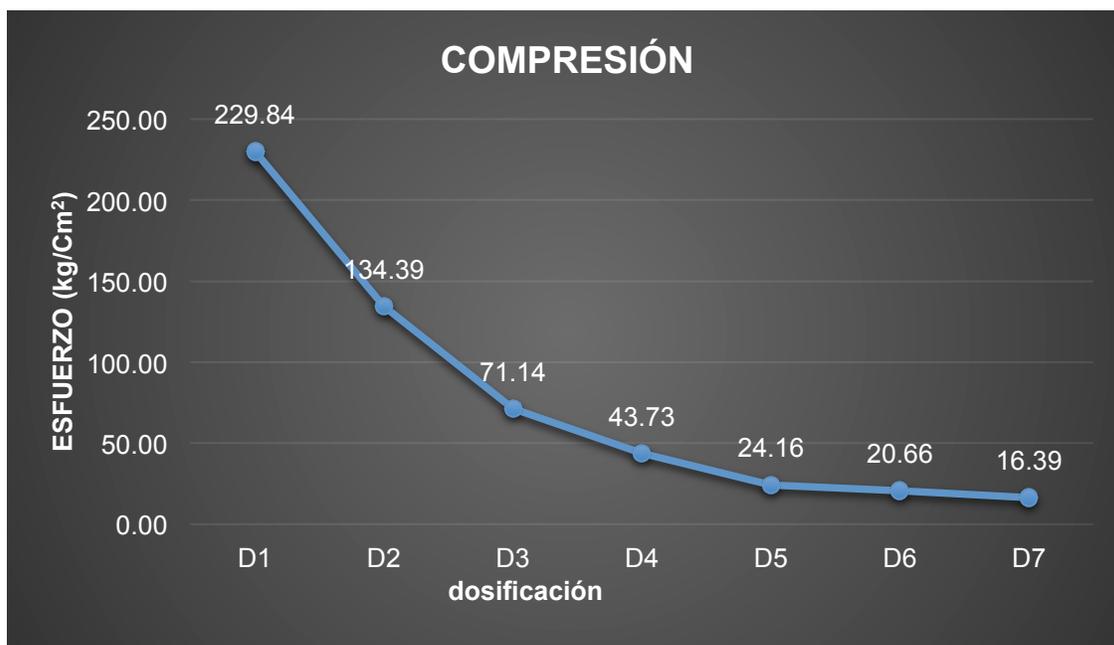


Figura 35. Resistencia a la compresión de las distintas dosificaciones.

4.5 RESULTADOS DE ACÚSTICA POR PROPORCIÓN

- Resultado de prueba en cajón acústico sin espécimen en medio con un emisor de 14kHz

Tabla 43. Pruebas realizadas al cajón acústico diez pruebas y su promedio.

prueba	dB
1	67.4
2	67.7
3	67.8
4	67.5
5	67.8
6	67.4
7	67.6
8	67.7
9	67.7
10	67.8
Promedio	67.64



Figura 36. Resultados de prueba a cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D1 100-0 con un emisor de 14kHz

Prueba	dB
1	41.2
2	41.5
3	41.1
4	40.8
5	41.1
6	40.8
7	41.3
8	40.9
9	41.6
10	41.2
Promedio	41.15

Tabla 44. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D1 diez pruebas y su promedio.



Figura 37. Resultados de prueba a D1 cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D2 90-10 con un emisor de 14kHz

Tabla 45. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D2 diez pruebas y su promedio.

prueba	dB
1	37.2
2	37.3
3	36.8
4	37.1
5	37.4
6	37.1
7	36.9
8	37.2
9	37.3
10	37.4
Promedio	37.17

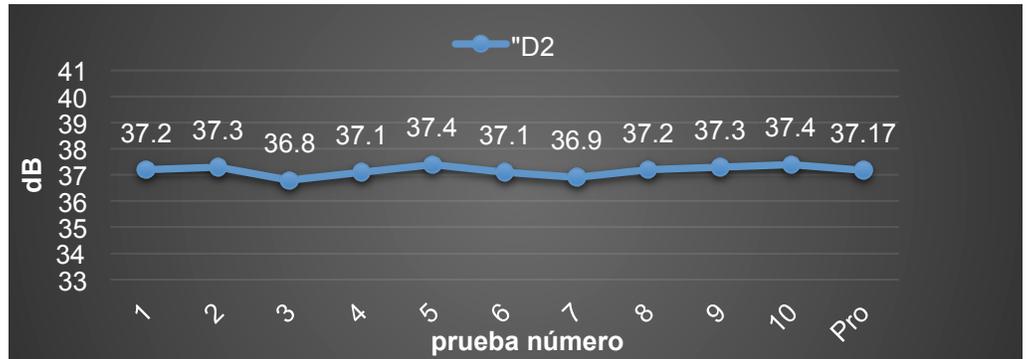


Figura 38. Resultados de prueba a D2 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D3 80-20 con un emisor de 14kHz

Tabla 46. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D3 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	35.5
2	35.7
3	35.9
4	35.8
5	35.6
6	35.5
7	35.7
8	35.9
9	35.7
10	35.8
Promedio	35.71

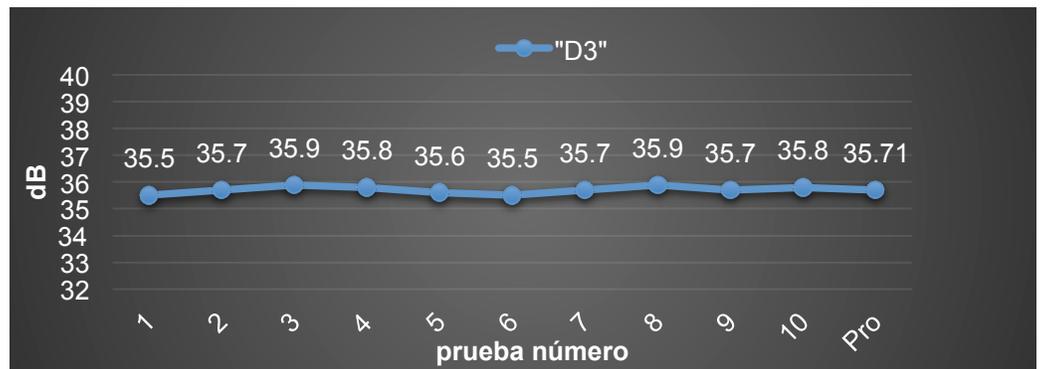


Figura 39. Resultados de prueba a D3 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D4 70-30 con un emisor de 14kHz

Tabla 47. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D4 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	35.5
2	35.4
3	35.2
4	35.3
5	35.1
6	35.3
7	35.4
8	35.2
9	35.3
10	35.1
Promedio	35.28

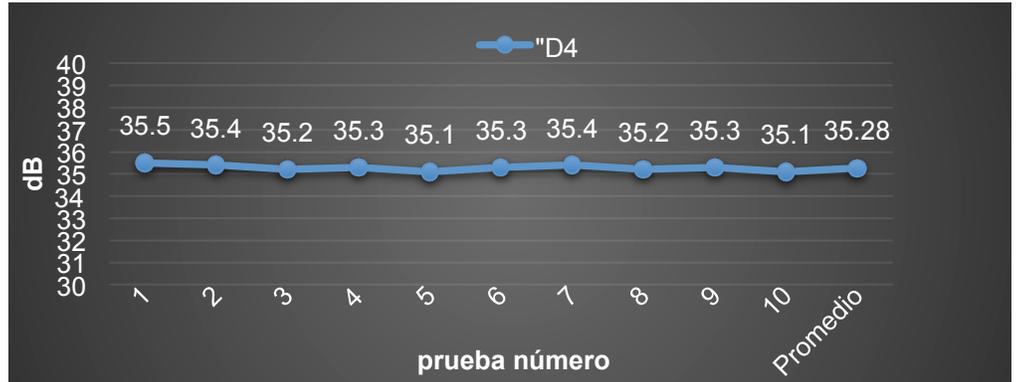


Figura 40. Resultados de prueba a D4 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D5 60-40 con un emisor de 14kHz

Tabla 48. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D5 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	34.8
2	34.6
3	34.9
4	34.8
5	35.1
6	34.9
7	35.2
8	35.2
9	34.7
10	34.6
Promedio	34.88



Figura 41. Resultados de prueba a D5 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D6 50-50 con un emisor de 14kHz

Tabla 49. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D6 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	35.4
2	35
3	34.8
4	35.1
5	34.9
6	35.3
7	35.2
8	35.4
9	35.2
10	35.3
Promedio	35.16

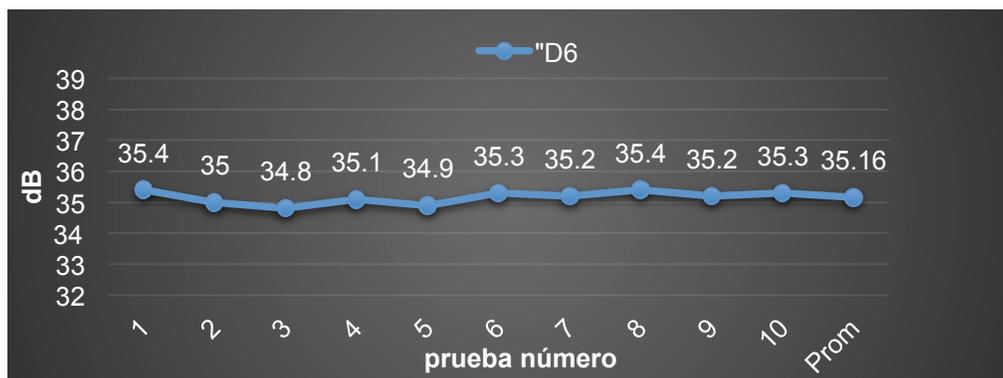


Figura 42. Resultados de prueba a D6 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D7 40-60 con un emisor de 14kHz

Tabla 50. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D7 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	35.6
2	35.7
3	35.8
4	36.1
5	35.7
6	35.6
7	35.9
8	35.8
9	35.8
10	35.7
Promedio	35.77

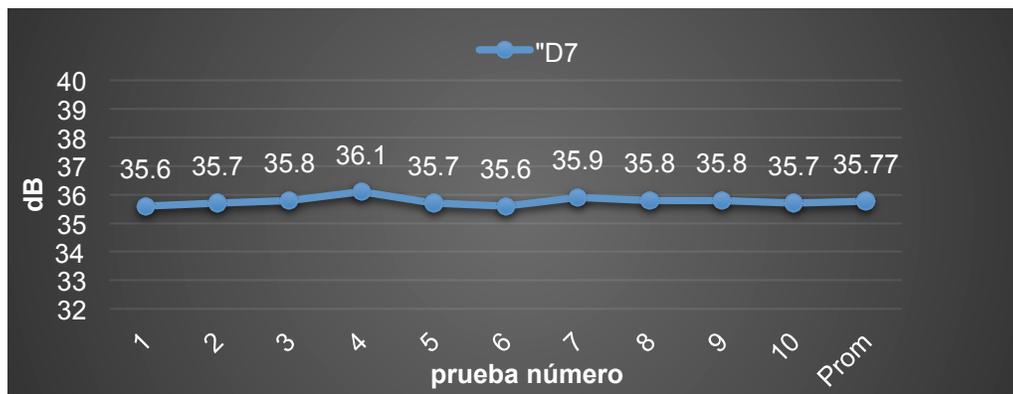


Figura 43. Resultados de prueba a D7 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D8 30-70 con un emisor de 14kHz

Tabla 51. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D8 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	35.9
2	36.1
3	36.2
4	36.4
5	35.9
6	36.2
7	36.3
8	36.4
9	36.1
10	36.3
Promedio	36.18

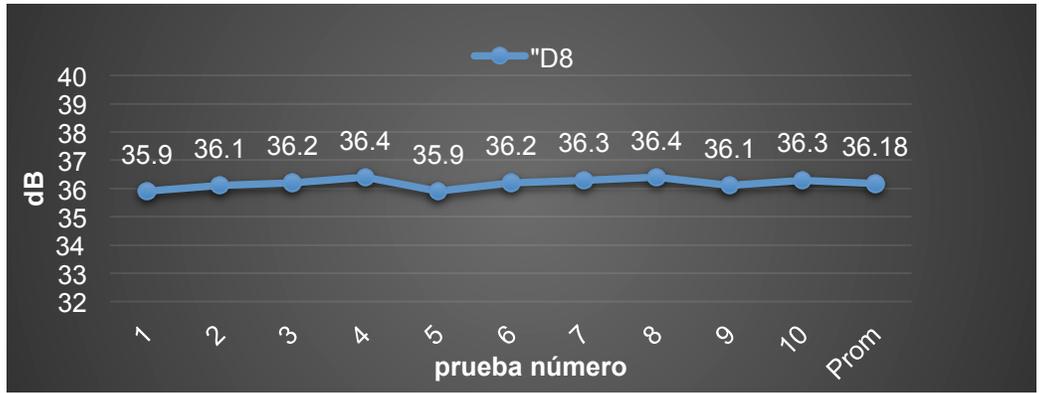


Figura 44. Resultados de prueba a D8 en cajón acústico en decibeles

- Resultado de prueba en cajón acústico con espécimen D9 20-80 con un emisor de 14kHz

Tabla 52. Pruebas realizadas al cajón acústico con espécimen D9 diez pruebas y su promedio.

Prueba	dB
1	36.7
2	36.9
3	36.6
4	36.7
5	36.8
6	36.7
7	36.9
8	36.7
9	36.5
10	36.6
Promedio	36.71

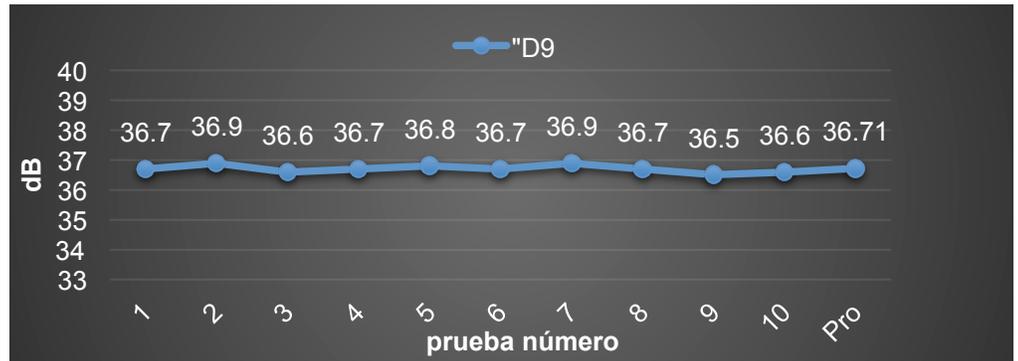


Figura 45. Resultados de prueba a D9 en cajón acústico en decibeles.

- Resultado del promedio las pruebas en cajón acústico con espécimen por proporción con un emisor de 14kHz

Tabla 53. Promedio de las pruebas de cada dosificación.

TIPO DE MATERIAL	PROMEDIO DE dB
0	67.64
D1	41.15
D2	37.17
D3	35.71
D4	35.28
D5	34.88
D6	35.16
D7	35.77
D8	36.18
D9	36.71

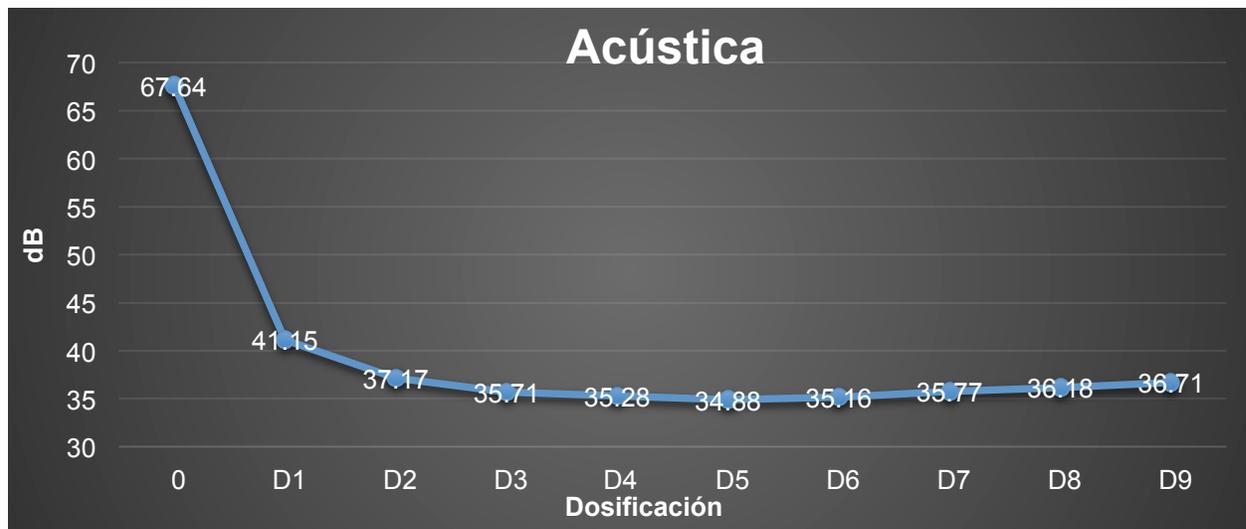


Figura 46. Promedio de las pruebas de cada dosificación.

4.5 RESULTADOS DE COMPARACIONES TÉRMICAS

Con este método buscamos el comportamiento de nuestros especímenes a la intemperie y hacer una comparación entre proporcionamientos.

En la comparativa de D1(90-10) y D4(70-30) podemos observar que en el periodo donde la temperatura es mas alta, el material D1 absorbe mas calor y cuando es mas baja, sede mas calor por lo que por la proporción D1 tiene mas absorción térmica que D4.

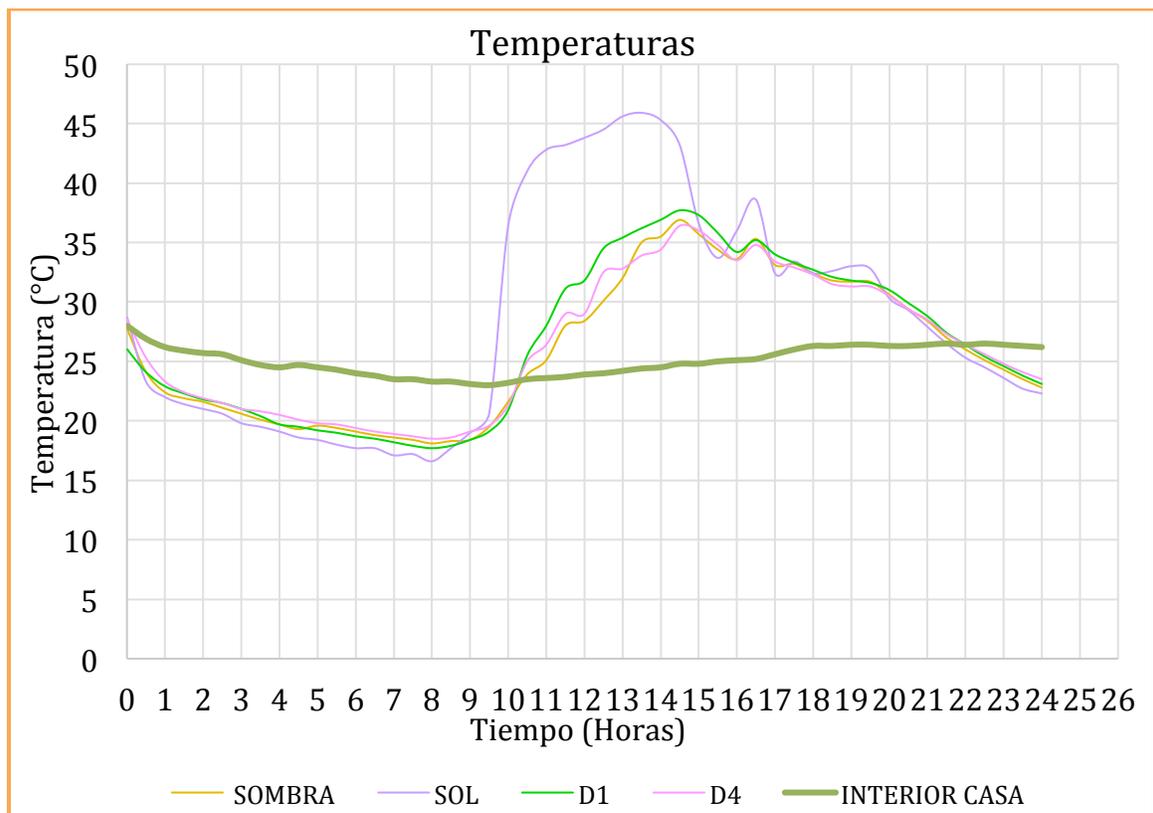


Figura 47. Comparativa térmica entre D1 y D4.

Comparando los especímenes D2 y D3 observamos que durante las horas pico de calor no presentaron mucha variación una de otra hasta que empieza a bajar la temperatura en donde D3 pierde temperatura mas rápido como conclusiones tenemos que D3 pierde temperatura mas rápido que D2.

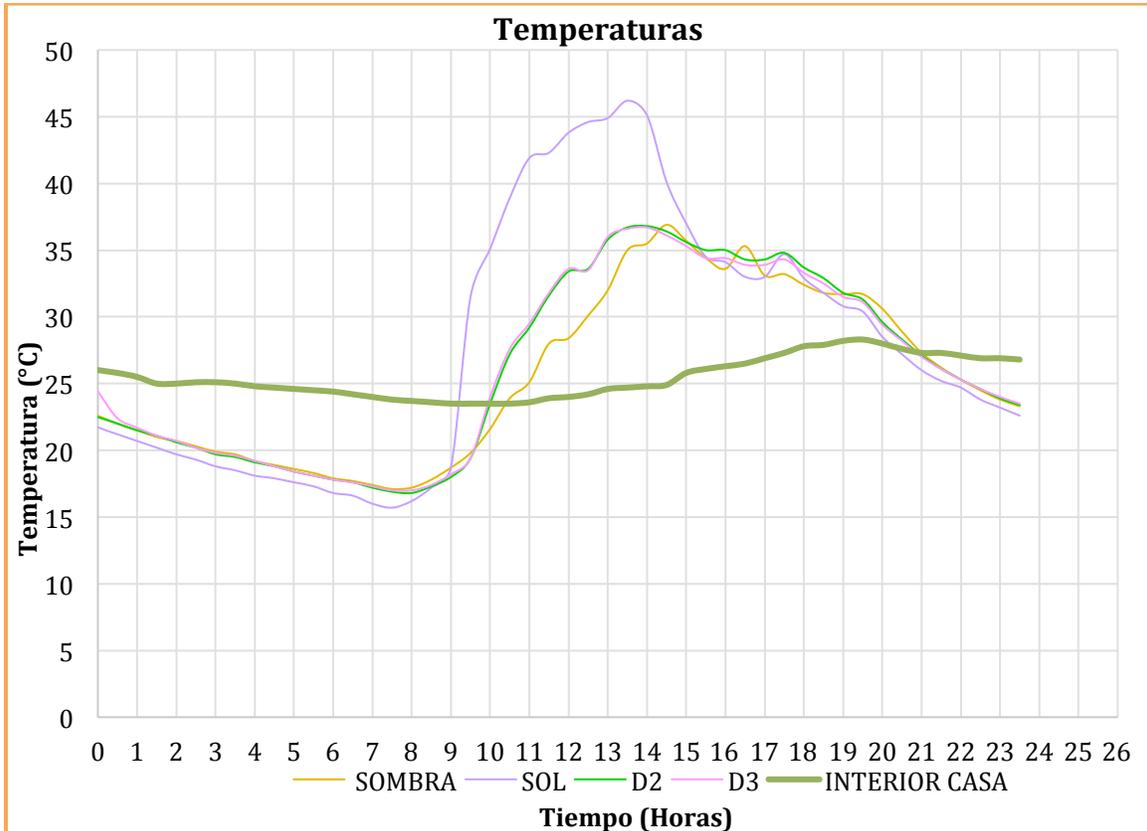


Figura 48. Comparativa térmica entre D2 y D3.

Comparando un espécimen D2 contra un D7 podemos apreciar ampliamente que el comportamiento del D7 a altas temperatura es mas noble que el del D2 que alcanzo a absorber 33° a la hora pico de dicho día.

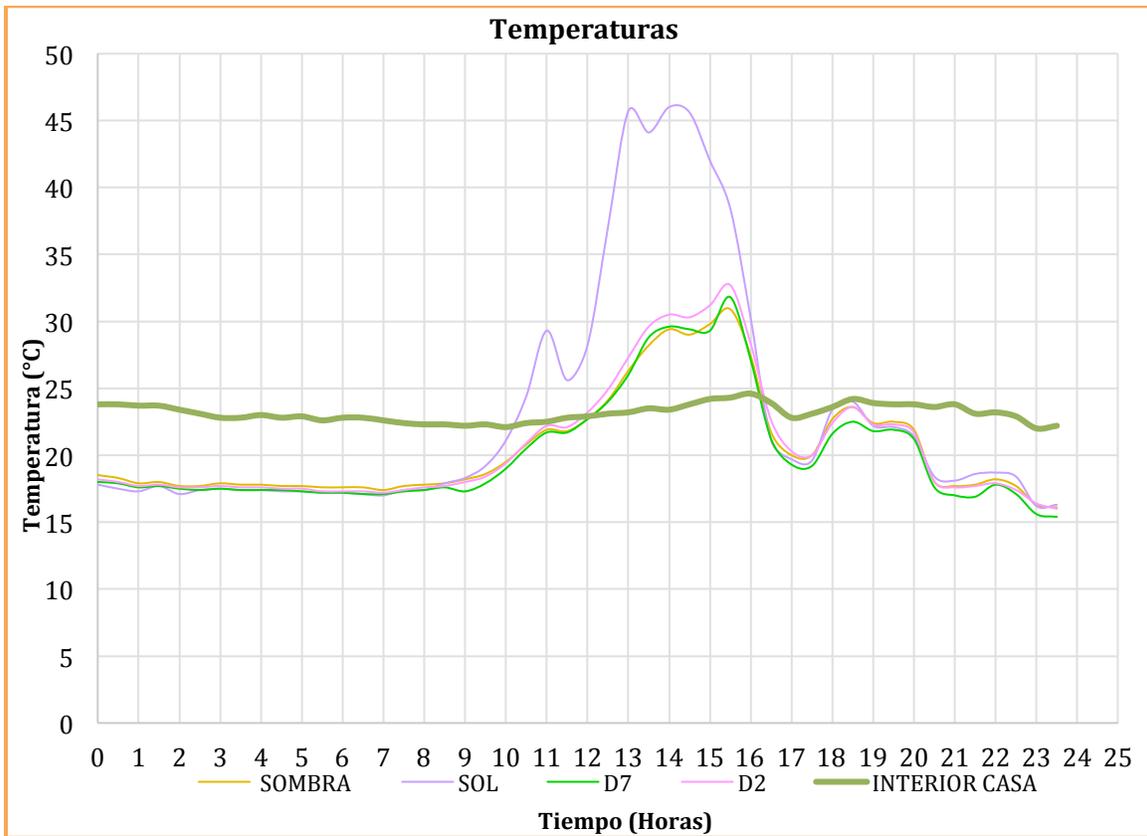


Figura 49. Comparativa térmica entre D2 y D3.

V. CONCLUSIONES

Los resultados nos muestran un material sustentables con altas posibilidades de su uso en la industria de la construcción, se logró relacionar los valores de densidad, absorción, resistencia a compresión y propiedades acústicas y térmicas por cada 10% de sustitución de cemento hidráulico por poliestireno reciclado.

El poliestireno expandido se trituró fácilmente a través de un equipo de aspas más agua.

La sustitución de poliestireno expandido por cemento hidráulico van desde un 10 hasta un 70%, encontrándose en todos los casos una disminución en peso que va desde un 9% hasta un 54% del peso de la muestra base cemento + agua.

Las mezclas con una disminución del 10% y 20 % presentan valores de $f'c$ de 134 y 71 kg/cm^2 respectivamente lo cual las hace candidatas para fabricar elementos prefabricados como tabiques o blocks, teniendo como ventaja menor peso y menor cantidad de cemento utilizado.

Se obtuvo un material con numerables ventajas en cuanto comparación con un mortero común: Ligereza (40% más liviano), acústico (50% con mas resistencia al sonido), capacidad de absorción (300%), y una resistencia (43 kg/cm^2).

La incursión del poliestireno expandido reciclado, provoca un decremento del peso en casi un 55% en comparación del mortero base. De igual forma al utilización en algún ferrocemento, en piezas de mampostería, o como relleno en un panel con este material obtenemos la mitad del peso en comparación con un mortero convencional.

Se logró un material con excelentes propiedades acústicas, gracias a la incursión del poliestireno como agregado, obteniendo un decremento en la capacidad acústica del 52% teniendo en un mortero convencional una capacidad de 67.64dB contra 34.88dB de una mezcla D5.

Para el trabajo experimental desarrollado sobre las mezclas fue importante mantener una relación agua/cemento de 0.45, para tener una buena trabajabilidad al momento de realizar las mezclas.

VI. REFERENCIAS

ACI Committee 213 R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, American Concrete Institute, Farmington Hills, (1987).

ACI. (American Concrete Institute). [Al final del espectro del concreto ligero. Concreto ligero estructural]. "At the high end of the lightweight concrete spectrum. Structural lightweight concrete". The Aberdeen Group.. U. S. A. (1981).

ACI. "Aggregates for concrete". ACI Education Bulletin E1-07, (2007).

A. Short, W. Kinniburgh, Lightweight Concrete, 3rd ed., Applied Science Publishers, London, (1978).

A. Godwin, Versatile concrete blocks for the third world, Indian Concr. J. 240–241. (1982).

A.N. Hanna, Properties of expanded polystyrene concrete and applications for pavement sub-bases, Res. Develop. Bull.-Portland Cem. Assoc. (Rd 055.01P).(2008).

B. Chen, J. Liu: *Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads*, Construction and Building Materials 21, p. 7-11. (2007).

Concretos Celulares Ltda. "Concretos Celulares". CCL. Septiembre (2009).

BUINY. " Concreto Celular". Bufete de Ingeniería de Yucatán. Enero, (2009).

Cervantes Abarca Alejandro. *“Nuevas tecnologías en concreto celular”*. Congreso nacional de tecnología para la arquitectura, ingeniería y diseño. (2008).

Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos norma mexicana NMX-C-061-1976.

D. Saradhi Babu, K. Ganesh Babu, T.H. Wee: *Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash*, Cement and Concrete Research 35, p. 1218- 1223. (2005).

D.J. Cook, in: R.N. Swamy (Ed.), *Expanded Polystyrene Concrete*, Concrete Technology and Design: (1). New Concrete Materials, Surrey University Press, London, pp. 41–69. (1983).

Ferrer, J.; et al. Metodología para la Generación de Alternativas a la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos. Alicante: Fundación Dávalos-Fletcher. p: 23-38. (2000).

Francisco Javier González Madariaga, Joaquim Lloveras Macia Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción, Dept. de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.(2007).

G. T. Munive, A. L. Leal-Cruz Elaboración De Material De Mampostería A Partir De Desecho De Poliestireno, En Mezcla Con Arena-Cemento, Departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad de Sonora, México,(2010).

Hernández-Zaragoza J.B. et al., *Cellular Concrete Bricks with Recycled Expanded Polystyrene Aggregate*, Advances in Materials Science and Engineering. (2013).

Hernández-Zaragoza J.B., Reporte de estancia sabática en Universidad Central de Rosario, Argentina. *Universidad Autónoma De Querétaro, Querétaro.*(2012).

Huerta, Raúl. “Concretos ligeros”. Revista Asociación Argentina del Hormigón Preparad., (2004).

K. Ganesh Babu, D. Saradhi Babu: *Behavior of lightweight expanded polystyrene* Marcelo Amianti Vagner y Roberto Botaro, Recycling of EPS: A new methodology for production of concrete impregnated with polystyrene (CIP), Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Campus Sorocaba-SP, Av. Darci carvalho Daffenner, 200 CEP 18043-970 CP 3031, Sorocaba-SP, Brazil, (2008).

Mohammed Mansour Kadhum y Mohammed Himza, Study the Effect of Polystyrene on Some Mechanical Properties of Concrete en *Babylon University College of Engineering*,(2002).

Neville, Adam M. Tecnología del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1992. México, D.F.

Norma oficial mexicana NMX-C-061-ONNCCE-2001 “*determinación de resistencia a la cpmpresión de cementates hidráulicos*”.

Oscar García, Tesis: Mortero ligero para su uso en la industria de la construcción, *Universidad Autónoma De Querétaro, Querétaro.*(2011).

Ozkan Sengula, Senem Azizib, Filiz Karaosmanoglub, Mehmet Ali Tasdemir, Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete,. stanbul Technical University, Department of Civil Engineering, Maslak, 34469 Istanbul, Turkey.(2010).

Pérez, Mireya, Un repaso del concreto celular, D.F., México. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2006).

P.H. Bischoff, K. Yamura, S.H. Perry, Polystyrene aggregate concrete subjected to hard impact, Proc.-Inst. Civ. Eng. 2. Res. Theory 89, 225–239. (1990).

Ramírez Jonatán, Tesis: Propiedades mecánicas de muros fabricados con tabiques ligeros, *Universidad Autónoma De Querétaro, Querétaro*.(2012).

Romero Moreno Ramona Alicia, *Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo*.(2010)

Ru Wang,Christian Meyer, Performance of cement mortar made with recycled high impact polystyrene, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, Columbia University, New York, NY 10027, USA, (2011).

Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile,” ASTM C67-03a, Annual Book of ASTM Standards, (2003).

Tommy Y. Lo y H.Z. Cui.”Properties of green lighthweight aggregate concrete” Universidad de Hong Kong, (2004).

V. Sussman, Lightweight plastic aggregate concrete, ACI J. 321-323. (1975)

W.C. Tang, Y.Lo, A. Nadeem: *Mechanical an drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete*, Cement & Concrete Composites 30, p.403-409. (2008).

Zaher Kuhail, Polystyrene Lightweight Concrete (Polyconcrete), *Civil Engineering Department, Islamic University, Gaza, Palestine*.(2000).

