

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL A FLEXIÓN DE  
PLACAS DELGADAS ALVEOLARES COMO ELEMENTOS  
ARQUITECTÓNICOS EN VIVIENDAS, MEDIANTE EL USO DE CEMENTO  
HIDRÁULICO Y POLÍMEROS.**

**PRESENTADO POR:  
MIGUEL ÁNGEL CASTILLO RAMIREZ - CÓDIGO: 506357  
ADRIAN BUSTOS FORERO - CÓDIGO: 506239**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2019**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL A FLEXIÓN DE  
PLACAS DELGADAS ALVEOLARES COMO ELEMENTOS  
ARQUITECTÓNICOS EN VIVIENDAS, MEDIANTE EL USO DE CEMENTO  
HIDRÁULICO Y POLÍMEROS.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGERIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:  
MIGUEL ÁNGEL CASTILLO RAMIREZ - CÓDIGO: 506357  
ADRIAN BUSTOS FORERO - CÓDIGO: 506239**

**DOCENTE ASESOR:  
MSC. MBA. MARTIN EDUARDO ESPITIA NERY**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2019**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**MSC. MBA. MARTIN EDUARDO ESPITIA NERY  
FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

**Bogotá D.C. Noviembre 16 de 2019**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado lo dedicamos primeramente a Dios, por darnos la fortaleza, la sabiduría, la serenidad y el coraje para desarrollar esta investigación y permitirnos desarrollarnos en tan valiosa profesión como lo es la ingeniería civil, también, queremos dedicar el presente trabajo a nuestros padres por brindarnos su apoyo, su cariño y su entrega a lo largo de nuestras vidas, por tan buena labor que realizaron al formar personas con principios morales y éticos donde prima el amor y el respeto, gracias por acompañarnos en este y en todos los sueños que hemos tenido y ser pilares para alcanzar estos mismos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por la vida, la salud y el encaminarnos en una profesión tan maravillosa como lo es la ingeniería civil, por la sabiduría y la perseverancia que ha puesto en nuestros corazones y en nuestras vidas para cada día luchar en contra de todas las dificultades que se nos han presentado en el camino hasta el día de hoy, de igual importancia, agradecer a nuestros padres por los valores éticos y morales que han inculcado en nuestras vidas al pasar de los años, ya que estos son los que nos hacen ser las personas que somos hoy en día, personas de bien, dispuestas a ayudar a la sociedad.

A la Universidad Católica de Colombia por darnos la posibilidad de hacer parte de tan grandiosa comunidad estudiantil, por inculcarnos su misión enfocada en la persona, formando profesionales técnicos con principios tanto morales como éticos, a los maestros por brindarnos sus conocimientos, los cuales nos han formado en las diferentes áreas tanto específicas como generales haciendo de nosotros cada día personas más competentes. Igualmente, le agradecemos a nuestro tutor el ingeniero Martin Eduardo Espitia Nery por confiar en nosotros y brindarnos su acompañamiento para poder desarrollar el presente proyecto de investigación, de la misma manera, agradecerle al ingeniero Rogelio Enrique Castro Piñeres el cual nos apoyó de una forma técnica en el desarrollo del presente trabajo de grado.

Finalmente, agradecer a todo el equipo que conforma el área de laboratorios, por darnos su asesoría técnica en los ensayos llevados a cabo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	18
PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
OBJETIVOS.....	21
GENERAL.....	21
ESPECÍFICOS.....	21
1. MARCO DE REFERENCIA.....	22
1.1. ESTADO DEL ARTE.....	22
1.2. MARCO TEÓRICO.....	25
1.2.1. Láminas.....	25
1.2.1.1. Flexión.....	26
1.2.1.2. Tipos de flexión.....	27
1.2.1.3. Ecuación de Navier.....	28
1.2.1.4. Análisis de secciones a flexión.....	29
1.2.1.4.1. Análisis de sección rectangulares a flexión.....	29
1.2.1.5. Fases de flexión a la rotura.....	30
1.2.2. Materiales.....	31
1.2.2.1. Concreto.....	31
1.2.2.2. Polímeros.....	31
1.2.2.3. Poliestireno expandido (EPS).....	31
1.2.2.4. Polipropileno.....	33
1.2.2.4.1. Fibras de polipropileno.....	33
1.2.2.5. Agregado fino.....	35
1.3. MARCO CONCEPTUAL.....	35
2. METODOLOGÍA.....	38
2.1. ADQUISICIÓN DE MATERIALES.....	40
2.1.1. Arena de río.....	40
2.1.2. Cemento.....	40
2.1.3. Poliestireno expandido (EPS).....	41
2.1.4. Fibras de refuerzo.....	41
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	41
2.2.1. Agregado fino.....	41
2.2.1.1. Contenido de humedad.....	42

2.2.1.2. Masas unitarias.....	42
2.2.1.3. Densidad y absorción .....	43
2.2.1.4. Análisis por tamizado.....	44
2.2.2. Cemento .....	44
2.2.2.1. Densidad.....	44
2.2.2.2. Consistencia normal.....	45
2.2.2.3. Tiempos de fraguado .....	45
2.2.3. Poliestireno expandido (EPS) .....	45
2.2.4. Fibras de refuerzo.....	45
2.3. DISEÑO DE MEZCLA .....	46
2.3.1. Resistencia específica requerida a los 28 días .....	46
2.3.2. Resistencia promedio a la compresión requerida (Fcr).....	46
2.3.3. Relación agua/cemento .....	47
2.3.4. Dosis de cemento .....	50
2.3.5. Cantidad de agua .....	53
2.3.6. Volumen de aire atrapado en la mezcla .....	53
2.3.7. Contenido de arena.....	53
2.4. ELABORACIÓN CILINDROS .....	54
2.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	54
2.6. DESVIACIÓN ESTANDAR .....	55
2.7. ELABORACIÓN LÁMINAS .....	56
2.7.1. Mezcla matriz con polímeros .....	56
2.7.2. Construcción láminas y curado.....	57
2.8. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LAS LÁMINAS .....	58
2.9. REPORTE DE RESULTADOS DE CARGA Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LAS LÁMINAS .....	59
3. RESULTADOS .....	61
3.1. ADQUISICIÓN DE MATERIALES .....	61
3.1.1. Arena de río.....	61
3.1.2. Cemento .....	61
3.1.3. Poliestireno expandido (EPS) .....	62
3.1.4. Fibras de refuerzo.....	63
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	63
3.2.1. Agregado fino (arena) .....	63
3.2.1.1. Contenido de humedad .....	65



3.2.1.1.1. Contenido de humedad – Agregados y Construcción.....	65
3.2.1.1.2. Contenido de humedad – Caracas – San Javier .....	66
3.2.1.1.3. Contenido de humedad – Minas y Canteras .....	66
3.2.1.1.4. Comparación contenidos de humedad .....	67
3.2.1.2. Masas unitarias.....	68
3.2.1.2.1. Masas unitarias – Agregados y Construcción .....	68
3.2.1.2.2. Masas unitarias – Minas y Canteras .....	70
3.2.1.2.3. Masas unitarias – Caracas - San Javier .....	71
3.2.1.3. Densidad y absorción .....	72
3.2.1.4. Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos .....	74
3.2.1.4.1. Análisis por tamizado – Agregados y Construcción .....	74
3.2.1.4.2. Análisis por tamizado – Minas y Canteras.....	76
3.2.1.4.3. Análisis por tamizado – Caracas – San Javier.....	77
3.2.1.4.4. Análisis comparativo.....	78
3.2.2. Cemento .....	78
3.2.3. Micro perlas de EPS (poliestireno expandido).....	79
3.2.4. Fibras de polipropileno.....	80
3.3. DISEÑO DE MEZCLA .....	81
3.3.1. Diseño de mezcla – Agregados y Construcción.....	81
3.3.2. Diseño de mezcla – Minas y Canteras .....	83
3.3.3. Diseño de mezcla – Caracas – San Javier .....	85
3.4. ELABORACIÓN DE CILINDROS .....	87
3.5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS (PROBETAS) .....	89
3.5.1. Caracterización mecánica de los cilindros – Agregados y Construcción.....	89
3.5.2. Caracterización mecánica de los cilindros – Minas y Canteras .....	90
3.5.3. Caracterización mecánica de los cilindros – Caracas – San Javier .....	90
3.6. DESVIACIÓN ESTANDAR .....	91
3.7. ELABORACIÓN LÁMINAS .....	93
3.7.1. Mezcla matriz con polímeros .....	94
3.7.2. Construcción láminas y curado.....	96
3.8. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LAS LÁMINAS.....	98
3.8.1. Caracterización física de las láminas.....	98
3.8.2. Ensayo a flexión.....	100
3.8.3. Relación (carga/peso).....	102

3.9. REPORTE DE RESULTADOS DE CARGA Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LAS LÁMINAS .....	106
ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN .....	111
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	117
ANEXOS.....	124
FIRMAS DE LOS ESTUDIANTES .....	161
FIRMA DEL ASESOR DEL TRABAJO DE GRADO.....	162

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de humedad – Agregados y construcción .....	66
Tabla 2. Contenido de humedad – Caracas – San Javier .....	66
Tabla 3. Contenido de humedad – Minas y Canteras .....	67
Tabla 4. Resultados contenidos de humedad .....	67
Tabla 5. Masa unitaria suelta - Agregados y Construcción .....	69
Tabla 6. Masa unitaria compactada – Agregados y Construcción .....	69
Tabla 7. Masa unitaria suelta – Minas y Canteras .....	70
Tabla 8. Masa unitaria compactada – Minas y Canteras.....	70
Tabla 9. Masa unitaria suelta – Caracas – San Javier .....	71
Tabla 10. Masa unitaria compactada – Caracas – San Javier.....	72
Tabla 11. Densidad y absorción .....	73
Tabla 12. Análisis por tamizado – Agregados y Construcción .....	75
Tabla 13. Análisis por tamizado – Minas y Canteras .....	76
Tabla 14. Análisis por tamizado – Caracas – San Javier .....	77
Tabla 15. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Agregados y Construcción .....	82
Tabla 16. Dosificación por <b>m3</b> .....	83
Tabla 17. Dosificación cilindros – Agregados y Construcción.....	83
Tabla 18. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Minas y Canteras.....	84
Tabla 19. Dosificación por <b>m3</b> .....	84
Tabla 20. Dosificación cilindros – Minas y Canteras .....	85
Tabla 21. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Caracas – San Javier.....	86
Tabla 22. Dosificación por <b>m3</b> .....	86
Tabla 23. Dosificación cilindros – Caracas – San Javier .....	87
Tabla 24. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Agregados y Construcción.....	89
Tabla 25. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Minas y Canteras .....	90
Tabla 26. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Caracas – San Javier .....	90
Tabla 27. Desviación estándar a los 7 días .....	92
Tabla 28. Desviación estándar a los 14 días .....	92
Tabla 29. Desviación estándar a los 28 días .....	93
Tabla 30. Diseño por volumen (matriz base + polímeros).....	94
Tabla 31. Diseño por peso (matriz base con polímeros – fibras refinadas).....	94
Tabla 32. Diseño por peso (matriz base con polímeros – fibras recicladas) .....	95
Tabla 33. Diseño por volumen (muestra patrón) .....	95
Tabla 34. Diseño por peso (muestra patrón).....	96
Tabla 35. Caracterización láminas muestra patrón .....	98
Tabla 36. Caracterización láminas con fibras refinadas.....	98
Tabla 37. Caracterización láminas fibras recicladas .....	99
Tabla 38. Esfuerzo máximo en láminas con fibras recicladas .....	100
Tabla 39. Esfuerzo máximo en láminas con fibras refinadas.....	101
Tabla 40. Esfuerzo máximo en láminas patrón.....	101
Tabla 41. Determinación de la eficiencia a partir de la relación (Carga/Peso) .....	103
Tabla 42. Resistencia específica – Agregados y Construcción .....	141
Tabla 43. Resistencia específica – Minas y Canteras .....	141
Tabla 44. Resistencia específica – Caracas – San Javier .....	141

Tabla 45. Dimensiones láminas con fibras recicladas .....	145
Tabla 46. Dimensiones láminas con fibras refinadas.....	145
Tabla 47. Dimensiones láminas muestra patrón .....	145

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa conceptual – Marco de referencia.....	22
Figura 2. Fibra Neutral .....	26
Figura 3. Distribuciones de deformaciones y tensiones normales en una sección transversal debido a un momento flector. ....	27
Figura 4. Elemento sometido a flexión pura en su zona central.....	28
Figura 5. Distribución de momentos en el ensayo de flexión en cuatro puntos para un elemento ....	29
Figura 6. Mapa conceptual - Metodología.....	39
Figura 7. Contenido de humedad – NTC 1776.....	42
Figura 8. Masas unitarias – NTC 92.....	43
Figura 9. Densidad y absorción – NTC 237 .....	43
Figura 10. Análisis por tamizado – NTC 77 .....	44
Figura 11. Densidad – NTC 221.....	45
Figura 12. Resistencia promedio a la compresión requerida .....	47
Figura 13. Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra.....	47
Figura 14. Relación agua/cemento – Ley de Abrams .....	48
Figura 15. Determinación de la relación agua/cemento .....	49
Figura 16. Dosis de cemento .....	50
Figura 17. Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 102 y 113%.....	51
Figura 18. Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 124 y 130% .....	52
Figura 19. Elaboración y curado de especímenes – NTC 550 .....	54
Figura 20. Ensayo de resistencia a la compresión – NTC 673.....	55
Figura 21. Formula de la desviación estándar .....	55
Figura 22. Consolidado de mezcla .....	56
Figura 23. Esquema montaje del ensayo. ....	59
Figura 24. Tipos de arena de río.....	61
Figura 25. Cemento ARGOS.....	62
Figura 26. Micro perla EPS .....	62
Figura 27. Fibras de polipropileno .....	63
Figura 28. Arena - Minas y Canteras.....	64
Figura 29. Arena – Agregados y Construcción.....	64
Figura 30. Arena - Caracas, San Javier.....	64
Figura 31. Peso muestra húmeda + recipiente y peso muestra seca + recipiente .....	65
Figura 32. Materiales para el ensayo de masas unitarias .....	68
Figura 33. Materiales para el ensayo de densidad y absorción .....	73
Figura 34. Materiales para el ensayo análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.....	74
Figura 35. Curva granulométrica - Agregados y Construcción .....	75
Figura 36. Curva granulométrica - Minas y Canteras .....	76
Figura 37. Curva granulométrica - Caracas – San Javier.....	77
Figura 38. Ficha técnica cemento ARGOS.....	79
Figura 39. Ficha técnica poliestireno expandido (EPS).....	80
Figura 40. Ficha técnica fibras de polipropileno .....	81
Figura 41. Mezclado de agregado para cilindros .....	88
Figura 42. Fundición de cilindros.....	88

Figura 43. Identificación y fraguado de los cilindros (probetas) .....	89
Figura 44. Curva comparativa de resistencia a la compresión para los tres tipos de arena. ....	91
Figura 45. Diseño de formaletas implementada en las láminas .....	96
Figura 46. Proceso de fundición de la lámina en formaleta .....	97
Figura 47. Proceso de desencofrado de las láminas diseñadas .....	97
Figura 48. Identificación y curado de muestras .....	97
Figura 49. Caracterización de las láminas .....	99
Figura 50. Montaje de ensayo a flexión para láminas.....	100
Figura 51. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 25 <b>mm</b> .....	104
Figura 52. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 20 <b>mm</b> .....	104
Figura 53. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 13 <b>mm</b> .....	105
Figura 54. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 10 <b>mm</b> .....	105
Figura 55. Carga máxima y deformación – láminas de 25 <b>mm</b> .....	106
Figura 56. Carga máxima y deformación – láminas de 20 <b>mm</b> .....	107
Figura 57. Carga máxima y deformación – láminas de 13 <b>mm</b> .....	107
Figura 58. Carga máxima y deformación – láminas de 10 <b>mm</b> .....	108
Figura 59. Falla presentada en las láminas de fibras recicladas .....	109
Figura 60. Falla presentada en las láminas de fibras refinadas .....	109
Figura 61. Falla presentada en las láminas patrón .....	110
Figura 62. Materiales empleados en el ensayo de densidad y absorción .....	124
Figura 63. Muestra sumergida para caracterización física.....	124
Figura 64. Medición de pesos y temperatura picnómetro .....	125
Figura 65. Procedimiento estado triple S del agregado.....	125
Figura 66. Ensayo cono humedad superficial .....	125
Figura 67. Succión de vacíos y decantación de muestra .....	126
Figura 68. Preparación de muestra para el procedimiento de cuarteo.....	129
Figura 69. Procedimiento de cuarteo en la muestra .....	130
Figura 70. Procedimiento de tamizaje .....	130
Figura 71. Mezclado de agregado para cilindros .....	138
Figura 72. Preparación de moldes para fundición .....	138
Figura 73. Fundición de cilindros.....	139
Figura 74. Identificación de los cilindros (probetas) .....	139
Figura 75. Fraguado de cilindros.....	140
Figura 76. Caracterización de cilindros .....	140
Figura 77. Tipo de falla a compresión en las probetas.....	142
Figura 78. Elaboración de formaletas.....	142
Figura 79. Preparación de mezcla láminas (Mezcla matriz + polímeros) .....	142
Figura 80. Fundición e identificación de muestras .....	143
Figura 81. Proceso de desencofrado .....	143
Figura 82. Desencofrado de láminas .....	143
Figura 83. Indicación de muestras .....	144
Figura 84. Muestras para curado .....	144
Figura 85. Curado de muestras .....	144
Figura 86. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 60% EPS.....	146
Figura 87. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 50% EPS.....	146
Figura 88. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 40% EPS.....	147
Figura 89. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS.....	147

Figura 90. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS.....	148
Figura 91. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS.....	149
Figura 92. Carga vs Deformación – lámina patrón 25 <b>mm</b> .....	150
Figura 93. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS .....	150
Figura 94. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS .....	151
Figura 95. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS .....	151
Figura 96. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS.....	152
Figura 97. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS.....	152
Figura 98. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS.....	153
Figura 99. Carga vs Deformación – lámina patrón 20 <b>mm</b> .....	153
Figura 100. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS .....	154
Figura 101. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS .....	154
Figura 102. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS .....	155
Figura 103. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS.....	155
Figura 104. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS.....	155
Figura 105. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS.....	156
Figura 106. Carga vs Deformación – lámina patrón 13 <b>mm</b> .....	156
Figura 107. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS .....	157
Figura 108. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS .....	157
Figura 109. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS .....	158
Figura 110. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS.....	158
Figura 111. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS.....	158
Figura 112. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS.....	159
Figura 113. Carga vs Deformación – lámina patrón 10 mm.....	159
Figura 114. Consumo de horas en laboratorio .....	160

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se presenta la necesidad de innovar en el mundo y en el ámbito ingenieril, creando nuevos elementos y/o nuevas tecnologías que suplan necesidades y faciliten la vida del hombre (OECD, 2010); es por esto que se desarrollan innovaciones en el campo investigativo de los componentes de la ingeniería civil, obteniendo así nuevos materiales y/o mejorando los ya existentes con características óptimas (Valencia, 2014).

Al día de hoy se ha evidenciado que las construcciones con procesos tradicionales necesitan mayores lapsos de ejecución, estudios técnicos más elaborados y mayor inversión económica en la mano de obra y materiales, con el objeto de cumplir con las condiciones sismo-resistentes impuestas en la NSR-10 y de esta manera, poder obtener los permisos de habitabilidad respectivos (Mendoza, 2018).

Por esta razón, el presente proyecto investigativo tuvo como objeto el diseño de placas delgadas que pudiesen ser implementadas en diferentes ámbitos arquitectónicos en la construcción de viviendas de un solo nivel, utilizándose en techos, paredes, divisiones de closets y topes para mesones de cocina, haciendo uso de materiales de construcción comercialmente existentes y de fácil acceso como los son el cemento hidráulico, la arena y los polímeros.

Los materiales antes mencionados (cemento hidráulico, arena, polímeros) contribuyeron a la construcción de las placas, las cuales podrían usarse en la elaboración de los paneles para paredes, transformándolo en un elemento constructivo que sustituya la mampostería tradicional en tabiques y también a la construcción liviana en seco (Drywall, Superboard), diferenciándose de los materiales tradicionales empleados hoy en día en la construcción de viviendas, contribuyendo a mejorar sus características de resistencia a la flexión y aligeramiento de peso.

En el presente trabajo de investigación se hizo un estudio acerca de las propiedades estructurales a la flexión que permiten el diseño y la aplicación de las placas delgadas alveolares como material arquitectónico en viviendas, haciendo uso de polímeros de diferentes clases que ayudasen a potenciar sus propiedades estructurales (flexión y aligeramiento), contribuyendo así que las placas de diseño no fallarán con facilidad al ser sometidas a cargas; se elaboraron con poliestireno expandido para aligerar las placas, brindando a la mezcla una estructura alveolar con aire incorporado, atrapado este aire dentro de las pequeñas esferas de poliestireno, el cual fue de fácil consecución por ser un producto comercial. Cabe recalcar que el poliestireno no se usó como componente estructural en la mezcla de cemento hidráulico, agua y arena, como se ha hecho en investigaciones previas. Asimismo el componente estructural estuvo conformado por esta mezcla de cemento alveolar, reforzado con fibras de polipropileno, generando placas de peso



ligero con capacidad estructural a flexión, para su implementación en acabados arquitectónicos de viviendas, constatando esta capacidad mediante diferentes ensayos en los que se realizaron prototipos que se sometieron a pruebas de laboratorio, hasta conseguir un panel con las características que se desearon estudiar en la investigación, en cuanto a economía, resistencia, manejabilidad y confortabilidad se refiere.

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La construcción de viviendas con el paso de los años se ha transformado en una actividad cuyo objeto ha sido mejorar la calidad de vida del ser humano, tanto así que hoy en día hace parte de los derechos humanos (Unidas, 1948); actualmente es un tema que preocupa a nivel global debido al déficit de vivienda y al índice de pobreza que hay en el mundo (ONU-HABITAT, 2015).

El concreto es un material constructivo que ha sido empleado en diferentes técnicas para la fabricación de viviendas (Construdata, 2013). En el siglo XX el uso de la relación agua/cemento y el aumento de la durabilidad con la inclusión de aire, marcaron dos significativos avances tecnológicos del concreto (Construdata, 2004), iniciando diferentes investigaciones para mejorar las características del concreto.

Al presente se ha recomendado que para casi todos los concretos la incorporación de aire se puede realizar, disminuyendo la densidad de un concreto normal (S.A., 2018); por otro lado, la implementación de fibras de polipropileno aumenta la resistencia a flexión y la ductilidad en un concreto normal, obteniendo un concreto fibroreforzado (Sika, 2014).

Posteriormente se han desarrollado diferentes publicaciones y aplicaciones para el desarrollo de concretos convencionales con diferentes elementos áridos, como:

- En el año 2012, en el Ministerio Español de Ciencia e Innovación, Verónica Ferrándiz Mas como tesis doctoral, realiza la caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido, evaluando la influencia de la adición de distintos tipos y dosificaciones de poliestireno, tanto comerciales como procedentes de reciclado obteniendo que la resistencia a compresión disminuye al aumentar el contenido de EPS (poliestireno expandido), siendo siempre significativamente menor que la resistencia del mortero patrón, debido tanto a la reducción de la densidad del mortero endurecido como de la trabajabilidad, que implica la obtención de morteros menos homogéneos y más disgregados (Mas, 2012).
- En el año 2014, en la Universidad Nueva Esparta de Venezuela, Luis Acosta como trabajo de grado realiza un análisis comparativo de la resistencia a compresión de bloques huecos de concreto con la adición de fibra de polipropileno, mitigando la fisuración de estos. Al momento de producirse la falla por compresión, la fibra hace un efecto de malla o tejido y no permite que el bloque se fracture por completo, conservando la homogeneidad de este entre un 80 y 90% (Acosta, 2014).
- En el año 2017, el ingeniero estructural Tuan D. Ngo realizo una investigación experimental y numérica de la influencia de los vacíos de aire en el

comportamiento de compresión del hormigón espumado, comparando los tipos de vacíos de aire en este y evaluando el efecto que ejercen estos en la capacidad de carga del hormigón, concluyendo que la microporosidad tiene menos influencia en la capacidad de carga del material en comparación con la macroporosidad (Ngo, 2017).

La producción de concreto alveolar u hormigón celular (cemento, agua, arena y aire) como también se le conoce en Europa, no es nueva, ya que data de 1927 siendo un material de construcción usado con frecuencia, estimándose actualmente la construcción de unas 500.000 unidades anuales de vivienda en el continente europeo (EcuRed, 2018). “La gama completa de productos de hormigón celular se compone de bloques, tabiques, dinteles y cubiertas, respondiendo a todas las necesidades de obra de una edificación” (EUROPE, 2018).

La estructura alveolar confiere al concreto propiedades de aislante térmico y acústico, compuesta por millones de micro células de aire, incorporadas a través de equipos espumógenos dentro de un proceso altamente industrializado y tecnificado para la elaboración de los prefabricados de hormigón celular (EcuRed, 2018).

La búsqueda de otros mecanismos para la incorporación de alvéolos de aire en la mezcla de concreto, para la obtención de concreto celular o alveolar, la reducción de costos respectivos, la compleja tecnificación y el costo de materiales tradicionales empleados en la construcción de viviendas (mampostería ladrillo, mampostería en bloque), constituye una de las justificaciones del presente proyecto de investigación.

En Colombia la producción de poliestireno expandido (EPS) está dada por la empresa Industria Colombiana de Porosos (ICOPOR) y el consumo anual a nivel nacional es de alrededor de 80 mil toneladas (González, 2017), por lo que el poliestireno expandido pasa a ser un material industrial de fácil acceso por las cantidades elevadas de producción que hay en Colombia, brindando en el diseño de las placas, un aligeramiento al ser adicionado en la mezcla del cemento junto con las fibras de polipropileno.

Al realizar esta mezcla se reducen los costos, porque el EPS en forma de pequeñas esferas que no es más que aire atrapado en una envoltura esférica polimérica, suministrará los vacíos en la mezcla, aligerándola y dándole una configuración alveolar, evitándose la necesidad del uso de compresores y aireadores mecánicos durante el proceso de mezcla para conseguir tal configuración, reduciendo significativamente los costos.

## PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde la aparición del hombre en la historia, éste ha tenido la necesidad de utilizar diversos lugares para refugiarse y protegerse de los animales salvajes y el clima; existen reportes de los diferentes tipos de refugio que el hombre ha usado, entre ellos están las cuevas que se supone utilizaron en la época de la prehistoria. Al pasar el tiempo, el hombre evolucionó construyendo edificaciones para su refugio de las inclemencias del medio ambiente; a este tipo de edificación se le conoce con el nombre de vivienda, que, a su vez, se ha dividido en distintas secciones con la finalidad de usar el espacio de forma eficiente. El hombre al construir su propio refugio, lo elaboró con diversos materiales que la naturaleza le ofrecía, entre ellos madera, rocas, arcilla, etc. (Cossio, 1995).

La vivienda se ha convertido en una necesidad para toda la humanidad, ya que el ser humano depende de este tipo de edificación para poder subsistir, por esta razón en diferentes partes del mundo existen diversos tipos de vivienda que han sido fabricadas con numerosos tipos de materiales, tales como; cemento, ladrillo, paja, vidrio, arena, limos, arcillas, entre otros. Además de la diversidad de materiales, existen distintos modelos de viviendas, que son diseñadas adecuadamente a las necesidades de sus futuros dueños (Bogotá, 2017).

El diseño de una vivienda y su construcción implica una serie de procesos que tienen como factor denominador el dinero, por ese motivo el tipo de material y el modelo a utilizar son factores primordiales para determinar el costo de fabricación, por ende, el precio de una vivienda. Vale la pena mencionar que los acabados juegan un rol importante en la construcción de este tipo de edificación, ya que, a mayor cantidad de acabados mayor confort, pero a su vez, es mayor el costo en la construcción de viviendas.

En muchos países se ha implementado el uso de viviendas prefabricadas para bajar los costos de construcción de este tipo de edificación, pero en los acabados se usan estructuras que aumentan estos costos, ya sea por el material usado o por la fabricación de este.

Colombia es uno de los países que no escapa al problema de la vivienda, de hecho, la vivienda es uno de los problemas más difíciles que vive la población actualmente. El alto costo de los suministros y materiales para la elaboración de elementos físicos para la construcción de viviendas, tales como el acero, cemento y bloques, elementos indispensables en la construcción tradicional de viviendas, hacen prácticamente inaccesible a una vivienda digna a las familias de bajos ingresos económicos (Castillo, 2004).

¿Podrán ser los paneles delgados de concreto alveolar reforzado con polímeros, un material que contribuya a la construcción de viviendas en Colombia?

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Determinar la capacidad portante a flexión de placas rectangulares de concreto alveolar, delgadas, de poco peso y de fácil construcción, combinando el uso de poliestireno expandido (para la configuración alveolar) y fibras de polipropileno como refuerzo a la flexión.

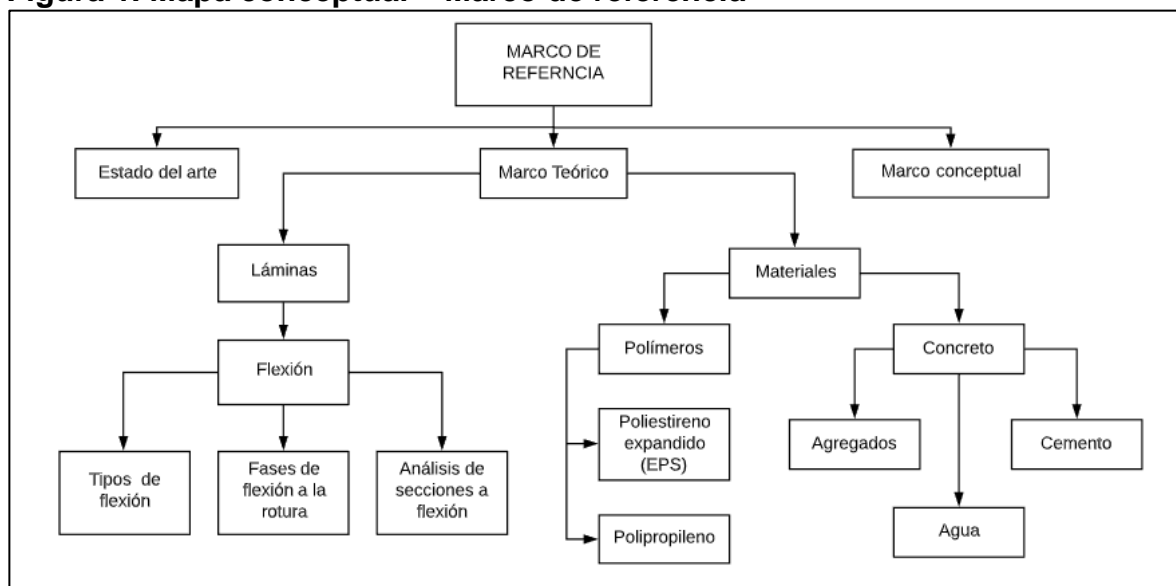
### **ESPECÍFICOS**

- Diseñar una mezcla de control (muestra patrón) que garantice una resistencia mínima a la compresión de  $125 \text{ Kgf/cm}^2$  a los 28 días en la matriz base, la cual servirá para la fabricación de las láminas con polímeros.
- Desarrollar diversos diseños de mezcla incorporando porcentajes del 40, 50 y 60% de poliestireno expandido (EPS) y 5 % de fibras de polipropileno tanto refinadas como recicladas para placas (láminas) con espesores de (25, 20, 13 y 10 mm).
- Comparar mediante ensayos a flexión de placas, que combinación o proporción de polímeros brinda una mayor resistencia en las láminas.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

El capítulo 1, comprende por medio del estado del arte, la situación actual en la cual se encuentran las investigaciones que han abarcado de cierta manera los componentes principales del presente estudio (polipropileno, EPS); asimismo, abarca los conceptos teóricos tomados como base para el desarrollo del presente trabajo investigativo incluyendo una descripción de conceptos técnicos ingenieriles.

**Figura 1. Mapa conceptual – Marco de referencia**



Fuente: (Autores)

### 1.1. ESTADO DEL ARTE

De acuerdo con (Palacio, y otros, 2016), “el Estado del Arte responde a la lógica de la investigación que precede a un trabajo pero que, mediante distintos abordajes y metodologías, busca llegar a conclusiones, respuestas y productos diferentes. La búsqueda necesaria para consultar trabajos ya realizados se torna hoy en día en una obligación en cualquier proceso de investigación”.

Se procedió a recopilar información, preferiblemente de bases de datos por considerarla más actualizada, de investigaciones, tesis, trabajos o publicaciones sobre temas similares al propuesto en esta investigación con los siguientes resultados:

- En la investigación **Durabilidad de los morteros de poliestireno expandido**. Autores: **V. Ferrándiz-Mas, E. García-Alcocel, 2013**, se obtienen diferentes hallazgos en la mezcla del poliestireno expandido y el mortero, como la disminución en el coeficiente de absorción capilar; a su vez se determinan propiedades del poliestireno expandido las cuales son: baja densidad, hidrofobicidad, resistencia química y aislamiento térmico; además se define como uso principal del poliestireno expandido en el cemento Portland servir como relleno y aligeramiento con respecto al peso total del mortero.

A partir de los ensayos realizados en esta investigación se evidencia que la presencia del poliestireno expandido en los morteros mejora y/o mantiene su durabilidad después de los ciclos de congelación y descongelación, dado que el poliestireno expandido absorbe parte de la presión de cristalización del hielo, lo que contribuye a reducir los daños en el mortero y al mismo tiempo aumentar la durabilidad.

Esta investigación aporta información en la determinación de la durabilidad de los morteros que involucran el poliestireno expandido, siendo valioso para esta investigación, ya que se implementara poliestireno expandido en la fabricación de laminas (V. Ferrándiz-Mas, 2013).

- En la investigación **Viabilidad estructural de paneles de pared tipo sándwich de hormigón ligero a base de poliestireno expandido (EPS)**. Autores: **P. L. N. FERNANDO, M.T.R. JAYASINGHE y C. JAYASINGHE, 2017**, tiene como objeto identificar las propiedades estructurales y la capacidad de construcción de un panel de pared de concreto liviano haciendo uso del poliestireno expandido como aligerante y acompañado de tableros de fibrocemento en los costados de este. Asimismo, se desarrolla en esta investigación un tablero que no tiene láminas de fibrocemento, siendo su composición al 100% de concreto liviano con poliestireno expandido. Se compara la resistencia entre los paneles y se concluye que el panel que está conformado de solo concreto liviano no puede estar expuesto a cargas, a su vez, el que contiene tableros de fibrocemento resiste cargas, pero sigue siendo pesado y de costo alto.

En esta investigación se evidencio que el concreto liviano (alveolar) estaba dado por la adición del poliestireno expandido, pero la resistencia del panel era deficiente cuando no se involucraban láminas de fibrocemento, lo cual indica que se debió haber optado por otro material de refuerzo que aligerara el panel y mantuviera su resistencia (P. L. N. FERNANDO, 2017).

- La investigación denominada **Mejora de la ductilidad de tracción y flexión con la adición de diferentes tipos de fibras de polipropileno en compuestos cementosos**. Autores: **Sutapa Deb, Nilanja Mitra, Subhasish Basu Majumber, Swati Maitra, 2018**, se adicionan fibras de polipropileno fibriladas y de monofilamento a una mezcla de compuesto de cemento, buscando características de resistencia como tracción, flexión y ductilidad. Estas fibras al ser implementadas controlan grietas y mejoran el

rendimiento mecánico en la mezcla de cemento; para la mezcla estudiada en esta investigación, se hace uso de arena ultrafina con gravedad específica de 2,66, la cual se considera según el artículo investigativo el agregado óptimo para poder desarrollar la muestra.

En esta investigación se determinan diferentes cantidades de cada tipo de fibra que conformaban la mezcla, con el fin de identificar los porcentajes de fibras más adecuados para obtener los mejores parámetros de resistencia; los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio de esta investigación concluyen que las fibras fibriladas tienen una mayor capacidad de carga mientras que las fibras de monofilamento brindan una mayor ductilidad, así mismo, se alcanzan los parámetros más ideales con un porcentaje del 70% de fibras fibriladas y un 30% de fibras de monofilamento en la mezcla, es decir, que al agregar estos porcentajes a la mezcla cementosa se logran mejores resultados de resistencia a comparación de una mezcla de un mortero simple según las muestras analizadas.

La presente investigación aporta información acerca del uso de las fibras de polipropileno, las cuales se implementarán en la mezcla del diseño de las láminas para aumentar la resistencia a flexión (Sutapa Deb, 2018).

- En el presente trabajo de investigación denominado **Rendimiento mecánico y de flexión del hormigón reforzado con fibra sintética de geo polímero. Autores: Amin Noushini, Max Hastings, Arnaud Castel, Farhad Aslani, 2018**, se realizan diferentes estudios para describir el rendimiento a flexión que posee el hormigón reforzado con fibras sintéticas de geo polímeros, encontrando que se aumenta la resistencia a la flexión cuando la longitud de las fibras de polipropileno se encuentra entre 19mm y 51mm. Esta investigación suministra información acerca de la implementación de fibras de polipropileno, aumentando así la resistencia del concreto a flexión con fibras de longitudes entre 19mm y 51mm, brindando una idea acerca del tamaño de fibras que se deben implementar en el proyecto investigativo (Amin Noushini, 2018).
- En la investigación **Características del hormigón que contiene EPS. Autores: J. M. Khatib, B. A. Herki, A. Elkordi, 2019**, se estudian las características que tiene el concreto al contener poliestireno expandido (EPS), empleándose como agregado en la mezcla de concreto; a su vez, se hallan a partir de diferentes muestras, las densidades que puede tener un concreto aligerado. Sumado a esto se encuentran las ventajas y desventajas en las propiedades mecánicas del concreto que contiene partículas de poliestireno expandido (EPS) obteniendo que la resistencia a la compresión de los concretos de poliestireno expandido es directamente proporcional a la densidad del concreto, es decir, a mayor densidad mayor resistencia. La resistencia a la compresión de la mezcla de concreto estudiada en este artículo investigativo, aumenta cuando se disminuye el tamaño de las



partículas de EPS en la mezcla.

La anterior investigación aporta información acerca del uso de poliestireno expandido (EPS) en la mezcla de concreto, información útil que se debe tener en cuenta en el diseño de la mezcla, ya que la incidencia de densidades bajas y el tamaño de las partículas de poliestireno afectan las propiedades a compresión del concreto aligerado (J. M. Khatib, 2019).

En base a las investigaciones que se han publicado acerca del uso de polímeros en las mezclas de cemento, se ha podido evidenciar que la mezcla de concreto con poliestireno expandido más el uso de fibras de polipropileno, no ha sido tema de investigaciones precedentes; por lo tanto, se estudió el comportamiento al unir poliestireno expandido como un material aligerante y fibras de polipropileno como elemento de refuerzo estructural en mezclas cementosas, para diseñar placas (paneles) delgadas alveolares como elementos arquitectónicos en viviendas, con el fin de suplir las mismas condiciones estructurales de los materiales tradicionales utilizados en la construcción de viviendas disminuyendo así los costos, el tiempo y facilidad de manipulación.

## **1.2. MARCO TEÓRICO**

### **1.2.1. Láminas.**

Las placas y las láminas son elementos estructurales que se caracterizan por ser geoméricamente bidimensionales y que trabajan predominantemente a flexión. Las placas son elementos estructurales cuya superficie media es plana, mientras que las láminas se caracterizan por tener una superficie curva. Las placas son estructuras continuas, por un dominio material plano, de espesor constante o variables  $h$  mucho menor que las dimensiones transversales del dominio, y sobre el que actúan cargas exteriores que pueden ser fuerzas perpendiculares al plano de la placa, o bien momentos contenidos en dicho plano. (Carreon, 2010)

Estas cargas son absorbidas por el sólido por medio de un efecto de flexión y deformación transversal.

Las hipótesis fundamentadas sobre la deformación en placas parte de la clasificación y caracterización de este elemento estructural en esbeltas y gruesas; las placas delgadas admiten la hipótesis de Kirchhoff la cual desprecia la deformación por cortante (José Angel Jurado Albarracín, 2004).

### 1.2.1.1. Flexión

La flexión se conoce al tipo de deformación que presenta un elemento estructural en dirección perpendicular al eje longitudinal del mismo. La flexión se presenta en elementos “alargados” que se caracterizan por tener una dimensión dominante frente a las otras que lo componen. Los elementos estructurales sometidos a flexión presentan una superficie de puntos denominada fibra neutral, que divide la zona comprimida de la zona traccionada; el esfuerzo que ocasiona la flexión se conoce como momento flector (Bejarano, 2013).

**Figura 2. Fibra Neutral**

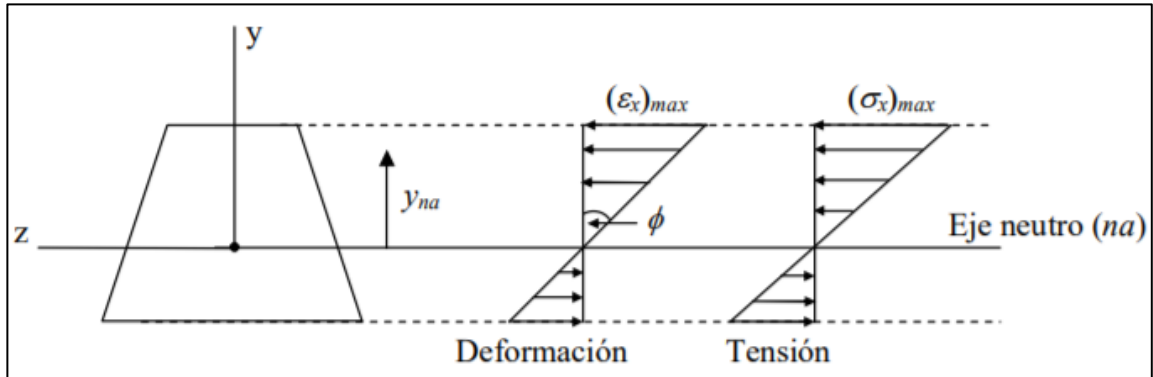


**Fuente: (Bejarano, 2015)**

El esfuerzo de flexión se conoce como la combinación de esfuerzos de compresión y de tracción que actúan en la sección transversal de un elemento estructural. Las fuerzas que influyen en el elemento estructural tienden a alargar o acortar este mismo.

Elementos con comportamiento lineal del material que están sometidos a flexión pura, se determina que tanto las deformaciones normales unitarias como las tensiones normales varían linealmente con la altura o profundidad de la sección transversal del elemento. Además, se define como eje neutro al lugar geométrico de las fibras que no cambian su longitud debido a la curvatura de la sección transversal, por lo tanto, la distribución de deformaciones unitarias y tensiones normales en la sección transversal de un elemento de material homogéneo está representado en la figura 3 (Miguel Cervera Ruiz, 2001).

**Figura 3. Distribuciones de deformaciones y tensiones normales en una sección transversal debido a un momento flector.**



Fuente: (Miguel Cervera Ruiz, 2001)

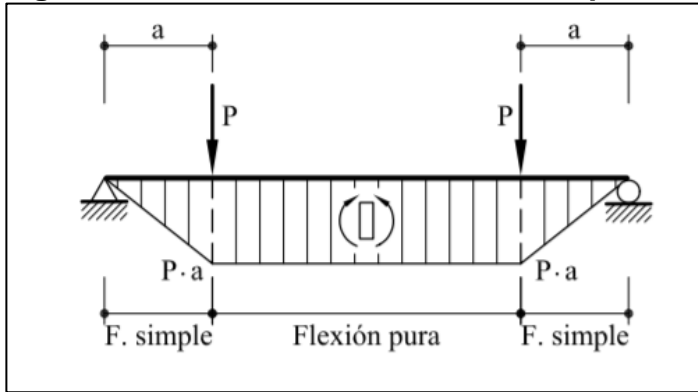
### 1.2.1.2. Tipos de flexión

Una pieza está sometida a flexión pura cuando sus secciones están solicitadas únicamente por un momento flector  $M$ . Los esfuerzos axial  $N$ , cortante  $T$  y momento torsor  $Mt$  son nulos en todas las secciones de la pieza. Por su parte, una pieza está sometida a flexión simple cuando sus secciones están sometidas a momento flector variable y, en consecuencia, viene acompañado de esfuerzo cortante. Por el contrario, se dice que una sección está sometida a flexión compuesta cuando sobre ella actúa un momento flector y un esfuerzo axial. Por último, si actúan a la vez momentos flectores y momento torsor, se dice que la sección está sometida a flexo-torsión (Miguel Cervera Ruiz, 2001).

La flexión comprende diferentes tipos como:

- Flexión pura: La flexión pura ocurre cuando en el elemento estructural actúa un momento flexionante constante, ocasionando que los esfuerzos a cortante sean 0.
- Flexión simple: La flexión simple ocurre cuando los miembros del elemento se encuentran en flexión no uniforme, el cual presenta de forma simultánea momentos flectores y fuerzas cortantes en este.
- Flexión biaxial: La flexión biaxial se presenta cuando un elemento tiene cargas que actúan en direcciones que son oblicuas a los ejes de simetría de la sección transversal del elemento, generalmente son elementos que están en voladizo.

**Figura 4. Elemento sometido a flexión pura en su zona central**



Fuente: (Miguel Cervera Ruiz, 2001)

La flexión pura es, por tanto, el caso más sencillo de flexión que se puede plantear, aunque sea una forma de sollicitación poco habitual en la práctica. Sin embargo, su interés se debe a que los resultados que se deducen de su estudio pueden aplicarse a los casos más corrientes de flexión simple o flexión compuesta, siempre que se tengan en cuenta, de forma adecuada, las diferencias entre unos casos y otros.

### 1.2.1.3. Ecuación de Navier

La ecuación de Navier permite calcular la tensión normal en un punto de la sección, conocida su distancia al eje neutro, y que pone nuevamente de manifiesto la distribución lineal de las tensiones normales de flexión. Es obvio que las tensiones máximas se darán en los puntos de la sección más alejados del eje neutro y que la tensión máxima de compresión no es igual a la tensión máxima de tracción, salvo que las distancias de las respectivas fibras extremas al centro de gravedad sean iguales, obteniendo así un esfuerzo máximo a partir del momento flector que actúa en la sección del elemento, un momento de inercia de la sección con respecto a la línea neutra y la altura del punto más lejano del elemento desde eje neutro (Miguel Cervera Ruiz, 2001).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

M: Momento flector que actúa en la sección del elemento.

c: Altura del punto más lejano del elemento desde el eje neutro.

I: Momento de inercia de la sección con respecto a la línea neutra.

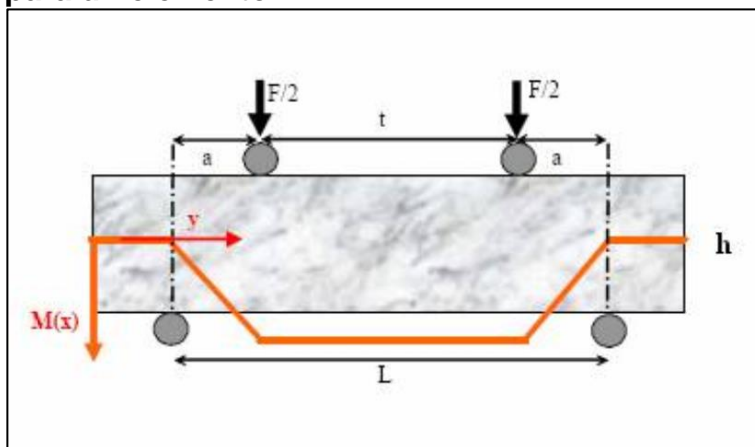
#### 1.2.1.4. Análisis de secciones a flexión

1. Determinar las propiedades mecánicas del elemento (material): Áreas, inercias, momentos estáticos, dimensiones, módulo de Poisson.
2. Teniendo en cuenta las propiedades anteriores, se procede a determinar las deformaciones, tensiones y esfuerzos en todas las secciones transversales de cada elemento analizado.
3. Se dimensionan los elementos del material analizado, teniendo en cuenta los esfuerzos y deformaciones de tal forma que resistan los esfuerzos flectores, cumpliendo así las limitaciones impuestas en las deformaciones (Miguel Cervera Ruiz, 2001).

##### 1.2.1.4.1. Análisis de sección rectangulares a flexión

Para secciones rectangulares sometidas a flexión por medio de un ensayo de cuatro puntos, la zona central del elemento está sometida a una tensión uniforme y el momento flector en la parte central es constante.

**Figura 5. Distribución de momentos en el ensayo de flexión en cuatro puntos para un elemento**



Fuente: (Wachtman, 1996)

## Determinación del esfuerzo máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M * c}{I}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3P(L - \frac{1}{2}L)}{wh^2}$$

Donde:

P: Carga aplicada

w: Ancho promedio

h: Espesor promedio

L: Distancia entre apoyos

### 1.2.1.5. Fases de flexión a la rotura

1. Fase de pre-fisuración: Esta se comprende desde que la carga tiene un valor de 0 hasta un valor x, en el cual la fibra más traccionada alcanza el valor de la resistencia a tracción del material. El momento flector que provoca esta tracción se le conoce como momento de fisuración.
2. Fase de fisuración lineal: En esta fase el elemento sometido a tracción se fisura, es decir, el momento de inercia del elemento ha cambiado con respecto a la fase de pre-fisuración ocasionando que este no trabaje a tracción en las partes donde se han originado fisuras, por ende, al realizar el cálculo de inercia se desprecian dichas secciones. Si la máxima tensión de compresión del elemento es suficientemente pequeña, la ley de distribución de tensiones se considera lineal y el módulo de deformación longitudinal del material se toma con el mismo valor de la fase de pre-fisuración.
3. Fase de pre-rotura: Se ocasiona cuando la distribución de tensiones pasa de ser lineal a un diagrama con tensiones curvas.
4. Fase de rotura: Se produce cuando la sección del material se agota, produciendo así una rotura a compresión del material y una rotura de tracción del elemento de refuerzo estructural (Oviedo, 2011).

## **1.2.2. Materiales**

### **1.2.2.1. Concreto**

El concreto es un material artificial compuesto, el cual consiste en un medio ligante denominado pasta, dentro del que se encuentran partículas conocidas como agregados. La pasta se produce en el contacto del cemento y el agua, mientras que el agregado es la fase discontinua del concreto, dado que las partículas de los agregados están dispersas por diferentes espesores de pasta endurecida. Las propiedades del concreto se generan de acuerdo con las características físicas y químicas que tienen sus componentes (R, 2019).

### **1.2.2.2. Polímeros**

Los polímeros son compuestos químicos cuyas moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros, las cuales se enlazan entre sí como si fueran los eslabones de una cadena. Estas cadenas, que en ocasiones presentan también ramificaciones o entrecruzamientos, pueden llegar a alcanzar un gran tamaño, razón por la cual son también conocidos con el nombre de macromoléculas. Los polímeros se caracterizan por tener las siguientes características:

- **Electrocromismo:** Propiedad de un polímero para cambiar de color.
- **Fotoconductividad:** Es una propiedad de origen óptico y eléctrico en el que un material se vuelve un mejor conductor eléctrico debido a la absorción de radiación electromagnética (INGENIERÍAQUÍMICA.NET, 2018).

### **1.2.2.3. Poliestireno expandido (EPS)**

El poliestireno, designado comúnmente con las siglas EPS, estructuralmente es un polímero constituido por una cadena larga de carbono e hidrógeno, con un grupo

fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica de radicales libres a partir del estireno (vinilbenceno) el cual es un monómero derivado del proceso de refinación del petróleo. A temperatura ambiente el poliestireno es un sólido termoplástico que puede ser derretido a altas temperaturas para moldearlo por extrusión y después resolidificarlo (CONSTRUMÁTICA, 2017).

El poliestireno expandido (EPS), conocido coloquialmente en nuestro país como icopor, es un material plástico espumado celular obtenido a partir del poliestireno expandible y como este tiene como base al monómero estireno, que es un líquido cuyas moléculas se polimerizan, junto con agua y un agente de expansión dando lugar a las perlas de poliestireno. Al someter este material al calor en condiciones controladas, estas perlas se expanden hasta un volumen muy superior al original (hasta 50 veces su volumen inicial), obteniéndose el material preexpandido.

Luego se moldea mediante un proceso que lo somete nuevamente al calor, inflando y soldando las perlas entre sí. Así se obtienen las espumas rígidas o bloques, o bien piezas de diferentes formas y tamaños. De esta manera se fabrican envases, piezas de embalaje, y muchos productos más. Sin embargo, para la presente investigación, el EPS se usará en perlas preexpandidas pero sin el proceso de moldeo al calor, o sea, perlas de EPS (icopor) en estado virgen, las cuales son ampliamente comercializadas como relleno para distintos usos industriales y domésticos.

Las propiedades físicas más resaltantes del EPS y que lo hacen muy apropiado para nuestros propósitos investigativos, son las siguientes:

- Liviano: Este material contiene hasta un 98%, aproximadamente, de aire, lo que hace que su peso sea muy bajo. Esta es la propiedad más importante en la presente investigación, ya que se usa como un incorporador de vacíos, a la mezcla de concreto constituida por el mortero de cemento y en sustitución de dispositivos mecánicos para tal fin, los cuales son costosos y difíciles de maniobrar para personas no especializadas.
- Estanqueidad: Está formado por celdillas cerradas llenas de aire estanco en su interior. No posee capilaridad alguna.
- Aislante térmico: Está formado por aire estanco (pésimo conductor del calor), en celdillas cerradas, y que el material básico (estireno) es de escasa conductividad térmica (coeficiente de  $0.028 \text{ Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ ), condición por la cual se aplica en un amplio campo térmico, que va desde los  $-190^{\circ}\text{C}$  a los  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- Atenuador acústico.
- Resistencia mecánica: Cuenta con una correcta resistencia al esfuerzo cortante lo cual lo hace adecuado para construcciones y recubrimientos autorresistentes.
- Elasticidad: Este presenta una alta capacidad de amortiguación.
- Resistencia al envejecimiento, resistencia a hongos y bacterias de putrefacción.
- Estabilidad dimensional: Es un material que cuenta con la característica de mantener su forma y fisionomía a través del tiempo.



- Ecológico: Es un material inocuo y no tóxico, neutro (se utiliza en envases para alimentos), 100% reciclable y no contiene CFC's ni HCFC's. (Clorofluorocarbonos o hidroclofluorocarbonos).
- Difícil inflamabilidad, aporta una reducidísima carga de fuego por su baja densidad (sólo 2% de plástico, el resto es aire). El EPS con retardante de llama es clasificado como “difícilmente inflamable” o de “muy baja propagación de llama”. Apto para muros cortafuegos, debido a que este cuando se quema, no genera ningún gas nocivo a base de cloro ni cianuro.
- Hidrofóbico, ya que tiende a rechazar la humedad.

#### **1.2.2.4. Polipropileno**

El polipropileno es un polímero termoplástico que se emplea en la industria textil (por ejemplo, cuerdas, ropa interior térmica y alfombras), artículos de papelería, partes de plástico y envases reutilizables de varios tipos, equipos de laboratorio. También se caracteriza por ser un polímero resistente a solventes químicos, bases y ácidos (Construcción, 2015). Algunas de las características del polipropileno son:

- Bajo coste.
- Alta resistencia química a disolventes
- Facilidad para el moldeo.
- Facilidad para colorear.
- Alta resistencia a la fractura por flexión o fatiga.
- Resistencia a temperaturas superiores a los 15 °C.
- Buena estabilidad térmica.

##### **1.2.2.4.1. Fibras de polipropileno**

La fibra de polipropileno es una resina termoplástica que se obtiene de la polimerización del propileno, monómero derivado del proceso de refinación del petróleo, en presencia de un sistema catalítico y bajo condiciones controladas de presión y temperatura (Propilven, 2002). Se indican como sus propiedades físicas importantes, las siguientes:

- Baja densidad.
- Alta resistencia química.
- Resistencia a la deformación por calor. (No expuesto a la llama).
- Baja permeabilidad al vapor de agua.

El hecho que la fibra se fabrique en forma de multifilamentos, la hace apropiada para su uso en la industria de la construcción, como sustituto del acero, pero solamente en lo que se refiere a absorber las tensiones o esfuerzos debidas a la retracción del concreto y a la dilatación por temperatura, o sea, el refuerzo de acero que se conoce en ingeniería bajo el término de refuerzo secundario, que usualmente se suministra como malla electrosoldada de acero. El uso de esta fibra con la mezcla de concreto le suministra a ésta las siguientes mejoras en su fraguado y resistencia:

- Reduce los agrietamientos en estado plástico.
- Reduce la segregación de los agregados pétreos.
- Reduce el agua de “sangrado” de la mezcla.
- Reduce el agrietamiento por temperatura.
- Reduce la permeabilidad.
- Incrementa la resistencia a flexión, corte y torsión.
- Resistencia a la corrosión y a el óxido.
- Mejora el amasado por su facilidad a mezclarse con el concreto.

### **Propiedades de la fibra de polipropileno**

#### **A. Propiedades físicas**

La densidad del polipropileno está comprendida entre 0.90 y 0.93 gr/cm<sup>3</sup>. Esta propiedad es básica como material aligerante.

- Una carga de tensión de 25,50 Kg/cm<sup>2</sup>, aplicada durante 24 horas, no produce un estiramiento apreciable a temperatura ambiente y resiste deformaciones hasta los 70 °C.
- Módulo de elasticidad: 35 Tf/cm<sup>2</sup>.
- Alargamiento máximo: 25% (aproximadamente)
- Gravedad específica 0.90
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Muy compatible con el concreto.
- Fácilmente reciclable.
- Alta resistencia al impacto.

#### **B. Propiedades mecánicas**

- Puede usarse como material para elementos deslizantes no lubricados.
- Buena resistencia superficial
- Es resistente a la humedad y al calor, sin deformarse apreciablemente.
- Buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

#### **C. Propiedades químicas**

- Tiene naturaleza apolar (no es afín con el agua hidrófoba, diferencia de electronegatividad cero) y por lo tanto posee gran resistencia a los agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto, no se requiere, con su uso en el concreto, recalculer la relación agua-cemento.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.
- Débil resistencia a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).
- Punto de ebullición de 320 °F. (160°C.)
- Punto de Fusión: más de 160 °C.

#### 1.2.2.5. Agregado fino

El agregado fino hace parte de los agregados, generalmente se usa en mezclas cementosas y se define como el material que pasa 100% el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200 (SILVA, 2015).

Las aplicaciones prácticas del agregado fino en el campo de la construcción se pueden evidenciar en el diseño y desarrollo de morteros y hormigones, en los cuales el agregado fino constituye un gran porcentaje de dosificación en las mezclas de diferentes materiales para la elaboración de estos mismos.

### 1.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Esfuerzo:** Conjunto de fuerzas internas a las que está sometido un cuerpo a consecuencia de las solicitaciones o acciones que actúan sobre él. Estas fuerzas internas son el resultado de la interacción de unas partículas del cuerpo sobre las otras.  
**Tipos de esfuerzos.**
  - **Tracción:** Se manifiesta cuando un elemento está sometido a fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios que tienden a alargarlo (Búa, 2014).
  - **Compresión:** Se presenta cuando actúan dos fuerzas iguales en sentido contrario una a la otra sobre un elemento las cuales tienden a acortar el material (DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA, 2004).
  - **Flexión:** Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa (Búa, 2014).
- **Módulo de Poisson:** El módulo de Poisson también conocido como coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) es un parámetro característico que tiene cada material, el cual indica la relación que hay entre las deformaciones

longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo (González, 2018)

- **Deformación:** La deformación es el cambio en la forma de un cuerpo que se produce como consecuencia de las tensiones que aparecen en el mismo a raíz de las sollicitaciones internas causadas por las fuerzas externas aplicadas en el cuerpo o por cambios de temperatura. La deformación global del cuerpo es resultado de las deformaciones locales internas producidas en cada punto de este. Las deformaciones de un cuerpo pueden ser:
  - Elásticas: Son aquellas deformaciones que desaparecen una vez cesan las causas externas que las provocaron.
  - Plásticas: Son aquellas deformaciones que permanecen en el cuerpo, aunque desaparezcan las fuerzas que las causaron (González, 2014).
- **Polímeros:** Son compuestos orgánicos que pueden ser de origen natural o sintético, con bajo peso molecular formados por unidades estructurales repetitivas llamadas monómeros (J, 2011).
- **Polipropileno:** Es un termoplástico que se obtiene por la polimerización del polipropileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto), los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos (PPETROQUIM, 2012).
- **Poliestireno Expandido (EPS):** Es una espuma rígida de color blanco de gran trabajabilidad, caracterizada por un termoplástico celular de baja densidad y alta resistencia físico-mecánica con relación a su reducido peso aparente.  
Está constituido por un sin número de celdas cerradas, solidariamente apoyadas y termo-soldadas tangencialmente entre sí, las cuales contienen aire quieto ocluido en su interior. El 98% del aire quieto en su volumen es lo que le confiere una extraordinaria capacidad de aislamiento térmico (Luco, 2013).
- **Cemento:** El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua (IECA, 2018).
- **Concreto alveolar (Concreto celular):** Es un material elaborado a partir de la combinación de agregados naturales y aditivos químicos que permiten diseñar y controlar el peso volumétrico de acuerdo con la necesidad que se tenga. La densidad de este concreto es baja comparándolo con la densidad de un concreto convencional (Concretos, 2010).

- **Concreto fibroreforzado:** Es un material hecho principalmente de cemento hidráulico, áridos o agregados y fibras de refuerzo. Las fibras para reforzar el concreto se producen a partir de acero, vidrios y polímeros orgánicos (fibras sintéticas) (ARGOS, 2018).
- **Relación agua/cemento:** La relación agua-cemento se puede definir como la razón entre el contenido efectivo de agua y el contenido de cemento en masa del hormigón fresco. El contenido efectivo de agua es la diferencia entre el agua total presente en el hormigón fresco y el agua absorbida por los áridos, mientras que el contenido de cemento en masa del hormigón se trata de los kilos de cemento (Putzmeister, 2014).
- **Durabilidad:** Resistencia de un material de permanecer inalterable al paso del tiempo (CONSTRUMÁTICA, 2017).

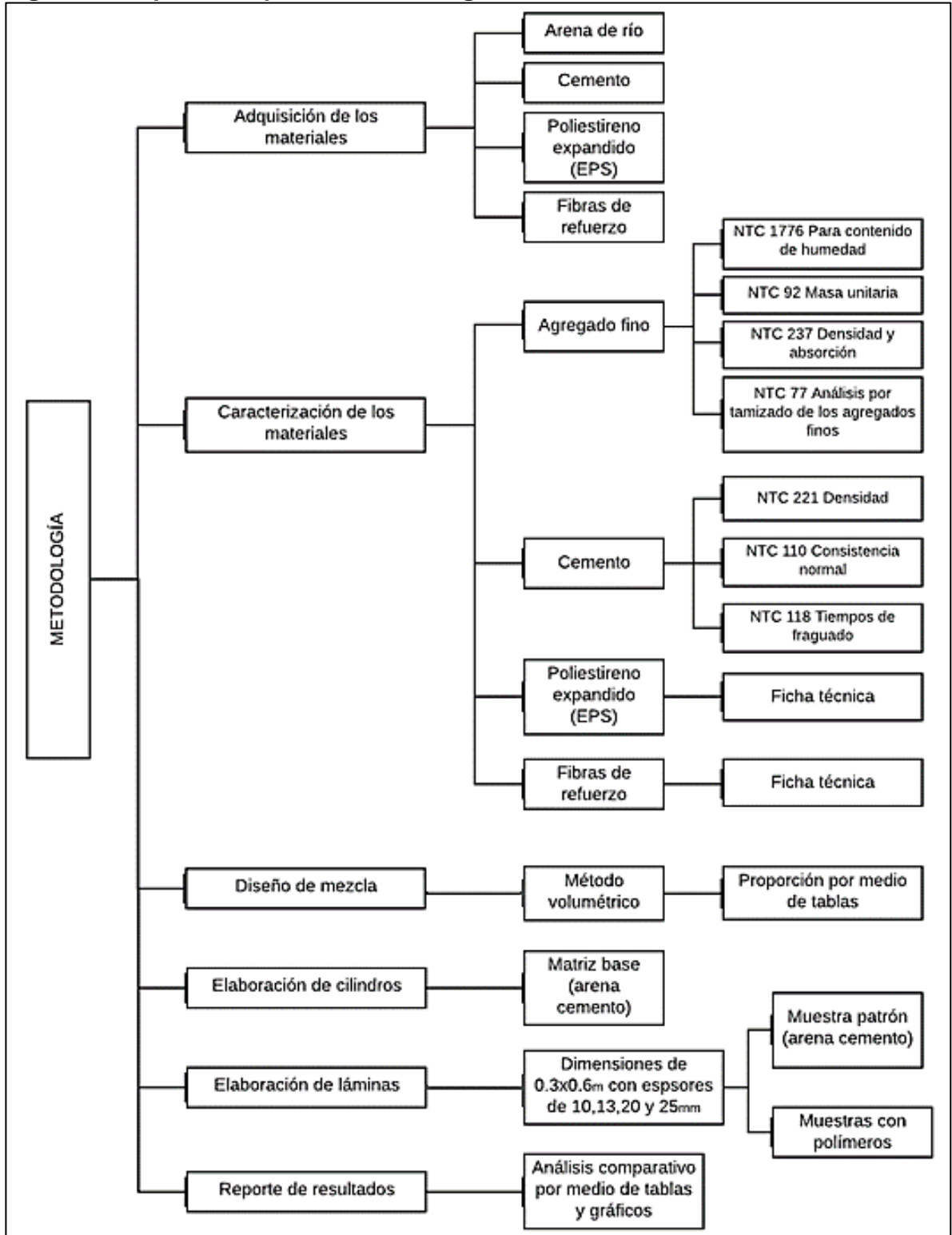
El concepto de los términos empleados en la presente investigación al igual que los materiales a utilizar, son fundamentales tanto para llevar a cabo la investigación como para entenderla y comprenderla, puesto que, serán estos quienes de cierta manera indiquen los parámetros en los cuales se deberá evaluar las láminas a diseñar y los conceptos de los cuales se deberá tener claridad, es por esto que, el capítulo anterior titulado “Marco de referencia” implica el estado del arte, el marco teórico, el marco conceptual y los insumos.

## 2. METODOLOGÍA

El marco metodológico es donde se describe la investigación como un proceso que, mediante la aplicación del método científico, obtiene información relevante y fidedigna para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento (Tamayo, 2001). En este capítulo se expone el método de trabajo usado para alcanzar los objetivos propuestos, en otras palabras, se muestra cómo se lleva a cabo la investigación (Arias, 2006).

Este es el capítulo que muestra la importancia y la relevancia del proceso de investigación, debido a que se revela la perspectiva científica del propósito, apoyado con lineamientos establecidos, que permite descifrar la intención del investigador (Palella, y otros, 2012). En otras palabras, es aquí donde se muestra el trabajo paso a paso para realizarse y su método, además de procedimientos lógicos y operacionales, con la finalidad de descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos. La metodología se desarrolla en base al siguiente marco conceptual planteado (ver figura 6).

Figura 6. Mapa conceptual - Metodología



Fuente: (Autores)

Inicialmente se realizó un proceso de búsqueda, recopilación y análisis de datos de investigaciones y documentos experimentales, que tuvieran relación con el proyecto de investigación para tener un fundamento teórico y práctico al momento de desarrollar el presente trabajo. A partir del fundamento teórico encontrado en investigaciones previas, se analizó la viabilidad de continuar con la idea del proyecto planteado, además se revisaron las falencias de las investigaciones análogas previamente realizadas, con el fin de no errar en el desarrollo del presente proyecto. Luego de la revisión antes mencionada, se optó por desarrollar la investigación implementando materiales usados en estas, como lo son el poliestireno expandido (EPS), el polipropileno, cemento y arena. El uso de EPS como agregado aligerante en la mezcla y proporcionarle una configuración celular, fibras de polipropileno como elemento estructural en la mezcla para resistir tensiones, cemento hidráulico y arena, obteniendo así un concreto alveolar resistente a la flexión. Es de suma importancia aclarar que en esta investigación se hizo uso de solamente agregado fino para el diseño y fabricación de las láminas, puesto que, si se hubiese usado agregado grueso, este por el tamaño de sus partículas, afectaría los espesores planteados en la presente metodología.

## **2.1. ADQUISICIÓN DE MATERIALES**

Para llevar a cabo la adquisición de los materiales, se tuvo como punto de partida los diferentes elementos que componen e integran la presente investigación, siendo estos, arena de río, cemento, poliestireno expandido (EPS) y fibras de polipropileno.

### **2.1.1. Arena de río**

Para la adquisición de la arena de río, se optó por encontrar tres tipos de arena con diferente procedencia que tuvieran la característica de ser agregado fino, esto con el objeto de hacer un análisis comparativo entre cada arena y estudiar a fondo cuál de estas iba a tener un mejor comportamiento en la mezcla matriz de cemento-arena que conforma el prototipo de lámina a diseñar, teniendo en cuenta que estas, tuviesen una fácil accesibilidad comercialmente en la ciudad de Bogotá.

### **2.1.2. Cemento**

En la obtención del cemento, se buscó una empresa que fuese especializada completamente en este material, puesto que, esto sería punto clave para contar con un cemento de uso general tipo portland como producto estandarizado de alta calidad, asimismo, también se buscó que la empresa que suministrara este producto contará con la facilidad de acceso a este mismo, en la ciudad de Bogotá.



### **2.1.3. Poliestireno expandido (EPS)**

Se procedió a buscar en el comercio nacional, el EPS teniendo presente conseguirlo con diámetros entre 1,5 y mm (micro perla), para garantizar una mejor distribución de estas esferas en la mezcla, debido a la característica hidrofóbica de ellas.

### **2.1.4. Fibras de refuerzo**

Con respecto a las fibras de polipropileno, su proceso de búsqueda consistió en que estas contarán con filamentos entre un rango de 20-80 mm de largo y con diámetro entre 0.2 a 1.0 mm, puesto que, estas dimensiones anteriormente descritas eran las que más se ajustaban a la investigación presente y al diseño planteado.

## **2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Es de suma importancia el caracterizar los materiales, esto con el objeto de definir las propiedades físicas con las cuales cuenta cada uno de estos; para este proceso, se implementó el uso de laboratorios guiados por medio de normativas ya establecidas como lo son las Normas Técnicas Colombianas (NTC), permitiendo así una próxima caracterización a los materiales que no contaban con una identificación de sus componentes, y, en los casos que el material contará con su respectiva ficha técnica hacer uso de esta.

### **2.2.1. Agregado fino**

Para la caracterización del agregado fino, se hizo uso de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) que comprenden y acogen los ensayos descritos a continuación, teniendo en cuenta que se emplearon en los tres tipos de arena utilizados en la presente investigación:

### 2.2.1.1. Contenido de humedad

En el desarrollo del ensayo de humedad natural en el cual se determina el porcentaje de humedad evaporable de una muestra del agregado sometida a secado, se debe tener en cuenta el proceso que se estipula en la Norma NTC 1776 (ASTM C566-89).

**Figura 7. Contenido de humedad – NTC 1776**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 1776 (ASTM C566-89)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.
<b>OBJETO</b>	Determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	La determinación de la humedad en la muestra es más confiable cuando se toma del agregado suministrado, mientras que cuando es alterado por calor los valores presenten variaciones significativas. Las partículas grandes son aquellas mayores a 50mm y estas requieren un tiempo más prologado para que la humedad salga desde interior a la superficie.

Fuente: (ICONTEC, 2007)

### 2.2.1.2. Masas unitarias

El ensayo de masas unitarias se realiza mediante la Norma NTC 92 (ASTM C 29M-91a), la cual determina la masa unitaria en condición compactada o suelta, y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados.

**Figura 8. Masas unitarias – NTC 92**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 92 (ASTM C29M-91a)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
<b>OBJETO</b>	Se determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre partículas de los agregados finos o gruesos. Solo se aplica a los agregados que no exceden los 50 mm de tamaño máximo nominal.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	La determinación de la masa unitaria son los necesarios para seleccionar las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

Fuente: (ICONTEC, 2007)

### 2.2.1.3. Densidad y absorción

El ensayo de densidad y absorción se realiza a través de la Norma NTC 237 (ASTM C 128-93), la cual comprende y determina (después de 24 h en agua) la densidad aparente, la densidad nominal y la absorción de la muestra a analizar.

**Figura 9. Densidad y absorción – NTC 237**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 237 (ASTM C128-93)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
<b>OBJETO</b>	Con el método se determina la densidad aparente y nominal a 23 °C y la absorción del agregado fino.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	Teniendo en cuenta que la densidad es masa por unidad de volumen. Cuando se hace referencia a densidad nominal o aparente es la forma de tomar el volumen porque los agregados tienen porosidad y esta puede ser saturable o no saturable. Por lo cual si se toma el volumen externo se hallara la densidad aparente y si a este se le elimina la porosidad saturable la densidad encontrada será la nominal, pero si además se le elimina la porosidad no saturable, el volumen resultante es el material puro.

Fuente: (ICONTEC, 2007)

#### 2.2.1.4. Análisis por tamizado

El ensayo de análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos se ejecuta mediante la Norma NTC 77 (ASTM C136-92), la cual determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.

**Figura 10. Análisis por tamizado – NTC 77**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 77 (ASTM C136-92)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos
<b>OBJETO</b>	Determinar la distribución de tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, por medio de tamizado.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de tamaños y los requisitos dependiendo de la aplicación. También son útiles en la determinación de la porosidad y el entramamiento entre partículas.

Fuente: (ICONTEC, 2007)

#### 2.2.2. Cemento

##### 2.2.2.1. Densidad

El ensayo de densidad para el cemento se ejecuta mediante la Norma NTC 221 (ASTM C188-2009), la cual determina la densidad del cemento hidráulico, también, su principal utilidad la cual está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.

**Figura 11. Densidad – NTC 221**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 221 (ASTM C188-2009)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Método para determinar la densidad del cemento hidráulico.
<b>OBJETO</b>	Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	Su principal utilidad se relaciona con el diseño y control de las mezclas de concreto, por eso se establecen los materiales y equipos necesarios para las practicas.

Fuente: (ICONTEC, 2009)

#### **2.2.2.2. Consistencia normal**

Para la consistencia normal del cemento, se tomaron los valores de consistencia proporcionados en la ficha técnica.

#### **2.2.2.3. Tiempos de fraguado**

En los tiempos de fraguado, se tomaron los valores proporcionados en la ficha técnica.

#### **2.2.3. Poliestireno expandido (EPS)**

En cuanto a las micro perlas de EPS, se hizo uso de la ficha técnica proporcionada por el proveedor de este insumo para su respectiva caracterización acerca de las propiedades con las que cuenta este material.

#### **2.2.4. Fibras de refuerzo**

Para las fibras de polipropileno, se empleó la ficha técnica facilitada por los fabricantes donde se encuentran las propiedades físicas del material a usar.

## 2.3. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla para la presente investigación se planteó por medio de un método volumétrico el cual se basa del libro “MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL” de los ingenieros Joaquín Porrero, Carlos Ramos, José Grases, Gilberto Velazco y del libro “EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN” de la ingeniera Libia Gutiérrez de López.

### 2.3.1. Resistencia específica requerida a los 28 días

La resistencia específica se definió a partir del uso que se le iba a dar al diseño de mezcla, llevando unidades de  $\text{Kgf/cm}^2$ , esto con el objeto de tener como referente una resistencia mínima a la compresión para el diseño de la mezcla que conformara el elemento.

### 2.3.2. Resistencia promedio a la compresión requerida ( $F_{cr}$ )

La resistencia promedio requerida también conocida con el nombre de resistencia del diseño de mezcla, es calculada para conocer la resistencia media de un material que este en proceso de diseño; para el caso de la presente investigación es necesario calcular esta resistencia promedio teniendo en cuenta, que esta, debe ser mayor a la resistencia específica requerida a los 28 días, esto con el objeto de contar con un factor de seguridad, para garantizar la resistencia en el proyecto o la investigación.

A continuación, se plantean dos posibilidades para poder determinar  $F_{cr}$ :

- Si se cuenta con un registro de 30 ensayos como mínimo, realizados con los agregados a usarse en el diseño de la mezcla, es posible calcular la desviación estándar con los resultados arrojados por estos ensayos. Se calcula la resistencia promedio requerida ( $F_{cr}$ ), la cual si tiene un valor menor que  $350 \text{ Kgf/cm}^2$  (la inmensa mayoría de los casos) se utilizan las siguientes fórmulas:
  - $F_{cr} = F_c + 1.34\sigma$  ( $\sigma$  = desviación estándar)
  - $F_{cr} = F_c + 2.34\sigma - 35 \text{ Kgf/cm}^2$
- Si no se poseen registros de ensayos que permitan calcular la desviación estándar, se puede establecer este parámetro, utilizando la siguiente tabla:

**Figura 12. Resistencia promedio a la compresión requerida**

<b>RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA, <math>F_{cr}</math>, CUANDO NO SE DISPONE DE DATOS PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1)</b>			
<b>RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN <math>F_c</math> (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)</b>	<b>RESISTENCIA REQUERIDA A LA COMPRESIÓN <math>F_{cr}</math> (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)</b>		
	<b>CONTROL DE CALIDAD EXCELENTE</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD INTERMEDIO</b>	<b>SIN CONTROL DE CALIDAD</b>
Menor de 210 <sup>(2)</sup>	$F_c + 45$	$F_c + 80$	$F_c + 130$
De 210 a 350	$F_c + 60$	$F_c + 95$	$F_c + 170$
Más de 350	$F_c + 75$	$F_c + 110$	$F_c + 210$

Fuente: (Joaquín Porrero, 2009)

### 2.3.3. Relación agua/cemento

- Para la relación agua/cemento máxima permisible cuando no se tienen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra, se usó la siguiente tabla que contiene la relación agua/cemento por peso, partiendo de la resistencia especificada y el contenido de aire incorporado en la mezcla.

**Figura 13. Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra**

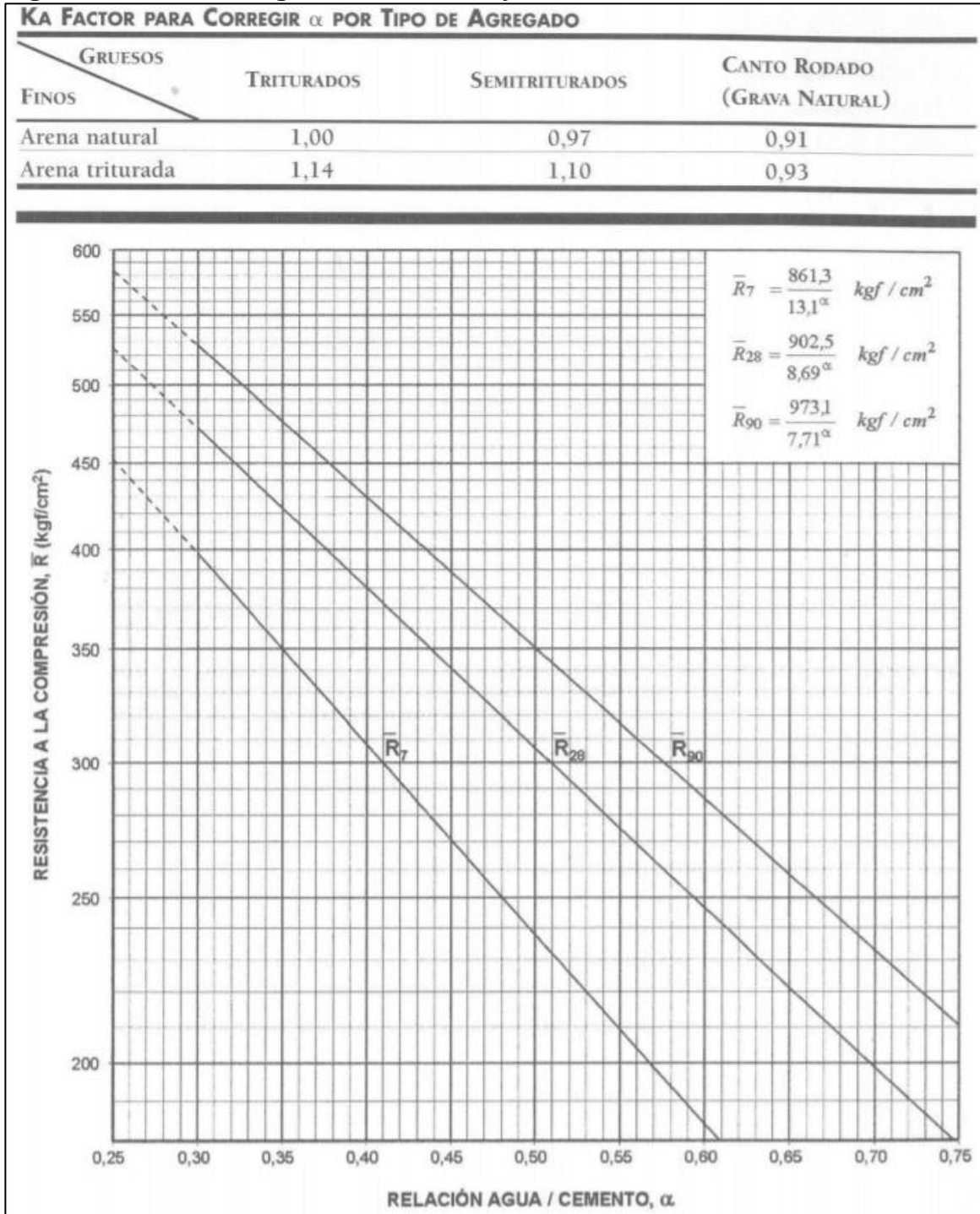
<b>RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA PERMISIBLE CUANDO NO EXISTEN DATOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA O EXPERIENCIA EN OBRA</b>		
<b>RESISTENCIA ESPECIFICADA <math>F_c</math> (<math>\text{kgf/cm}^2</math>) (2)</b>	<b>RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR PESO (1)</b>	
	<b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b>	<b>CONCRETO CON AIRE INCORPORADO</b>
150 (3)	0,62	0,51
210	0,52	0,42
250	0,44	0,34
300	0,37	(4)
350	(4)	(4)

Fuente: (Joaquín Porrero, 2009)

- En la tecnología del concreto, es fundamental tomar en consideración la Ley de Abrams sea cual fuere el método que se use para realizar el diseño de la mezcla. (Joaquín Porrero, 2009), expresan esta ley de la siguiente manera,

como la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, en peso.

**Figura 14. Relación agua/cemento – Ley de Abrams**

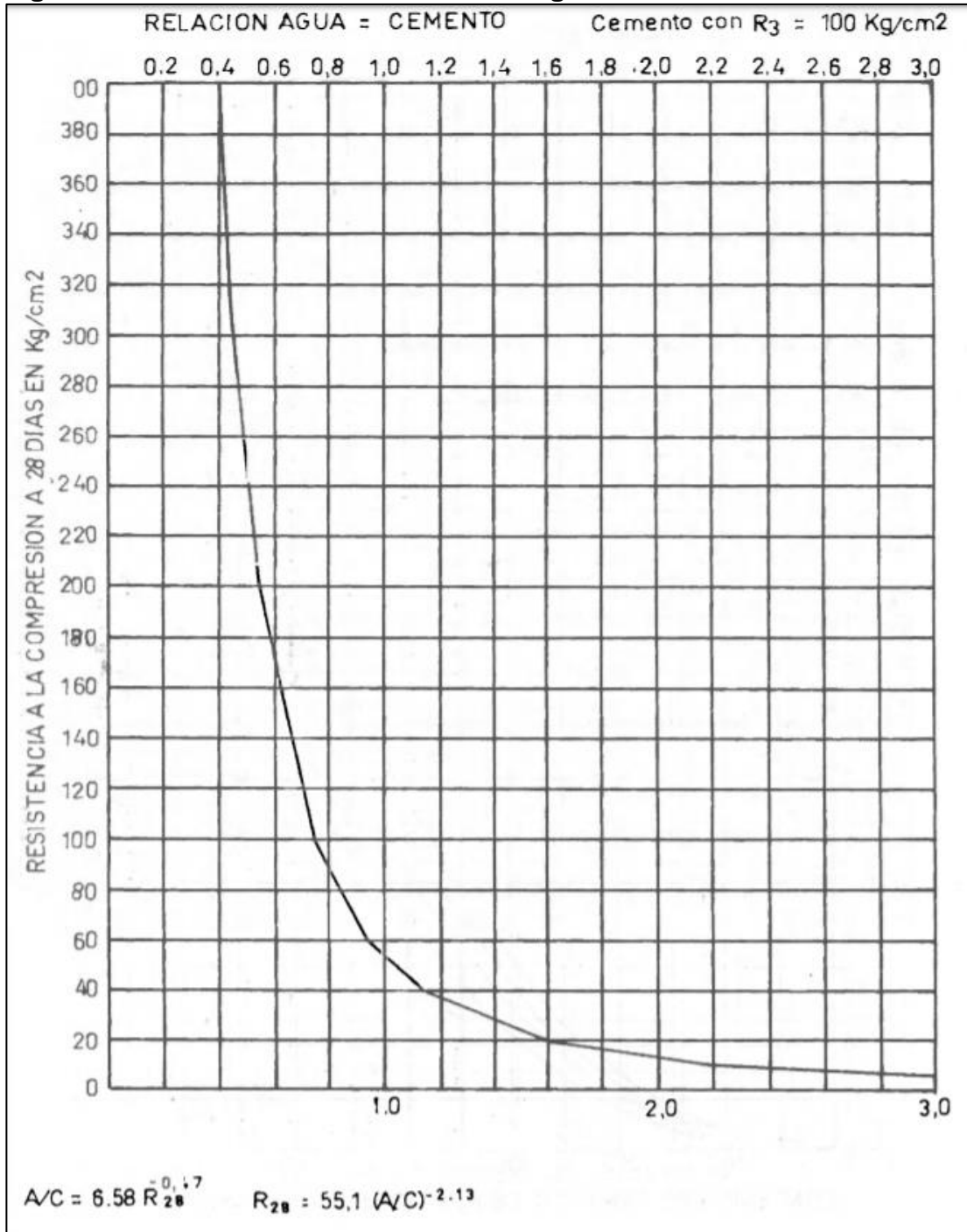


Fuente: (Joaquín Porrero, 2009)



- La siguiente gráfica permite la determinación de la relación agua/cemento a partir de la resistencia promedio a la compresión requerida, basándose del libro de la ingeniera Libia Gutiérrez de López titulado "EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN"

**Figura 15. Determinación de la relación agua/cemento**

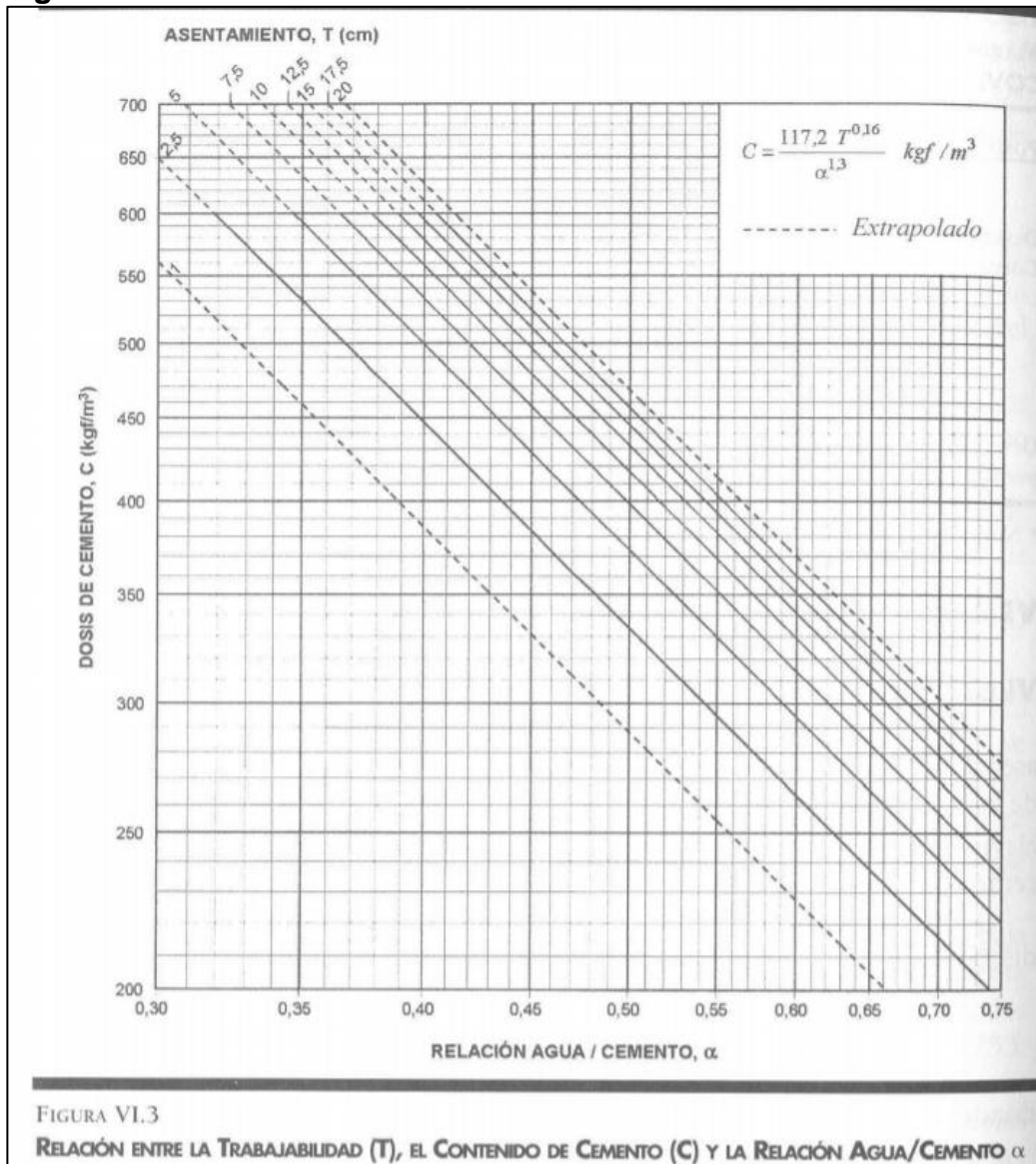


Fuente: (LÓPEZ, 2003)

### 2.3.4. Dosis de cemento

- Se determino la dosis de cemento que se requería para la resistencia dada anteriormente. Para esto, se siguió el método escogido en esta investigación de Porrero; este autor establece una Relación Triangular entre la trabajabilidad del concreto, medida como asentamiento en el Cono de Abrams, la relación agua-cemento y la dosis de cemento la cual se pretendía hallar.

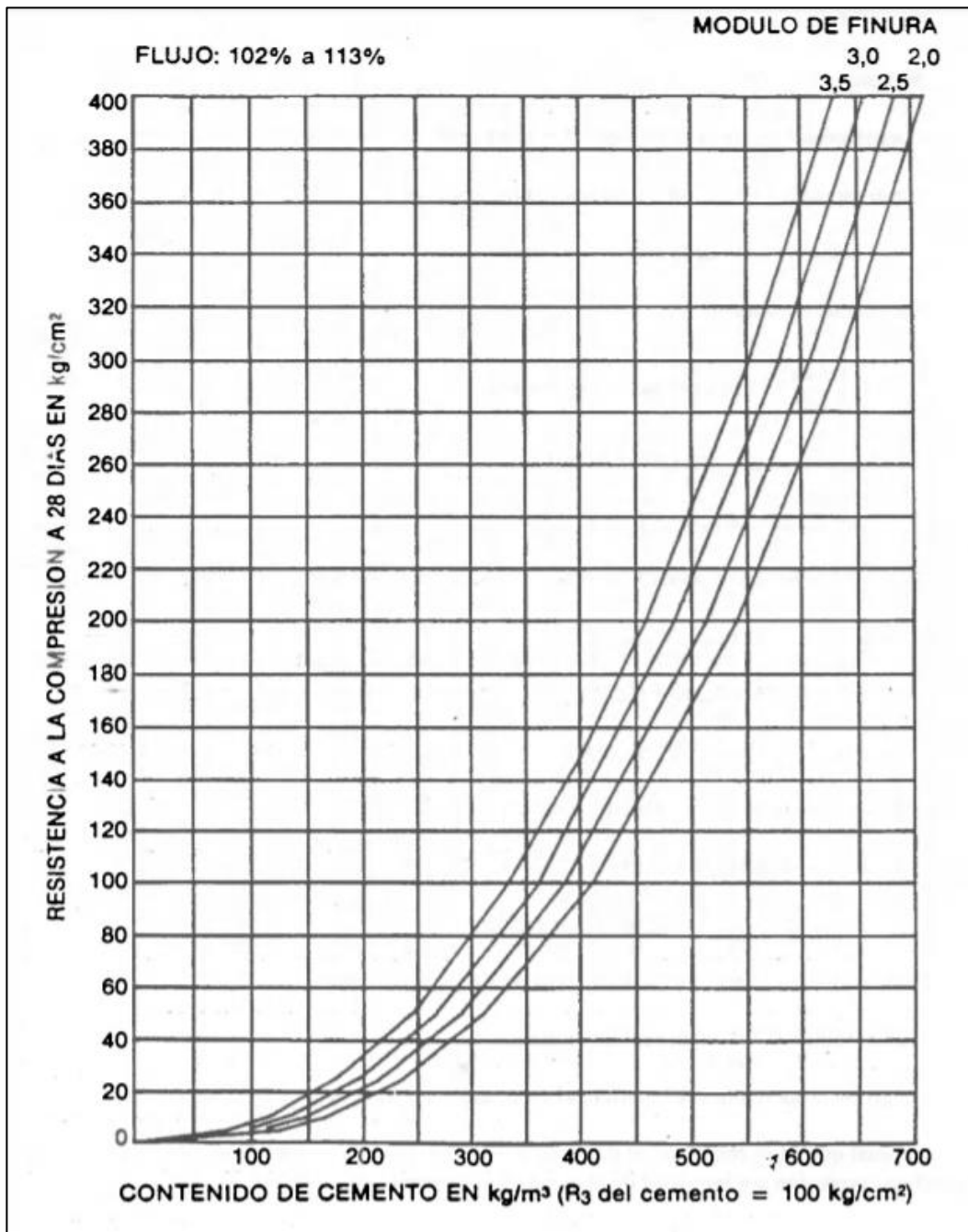
Figura 16. Dosis de cemento



Fuente: (Joaquín Porrero, 2009)

- El cálculo de la dosis de cemento se realizó mediante el valor de la resistencia a la compresión, el módulo de finura del agregado fino y el flujo de la mezcla, comprendidos en la siguiente gráfica.

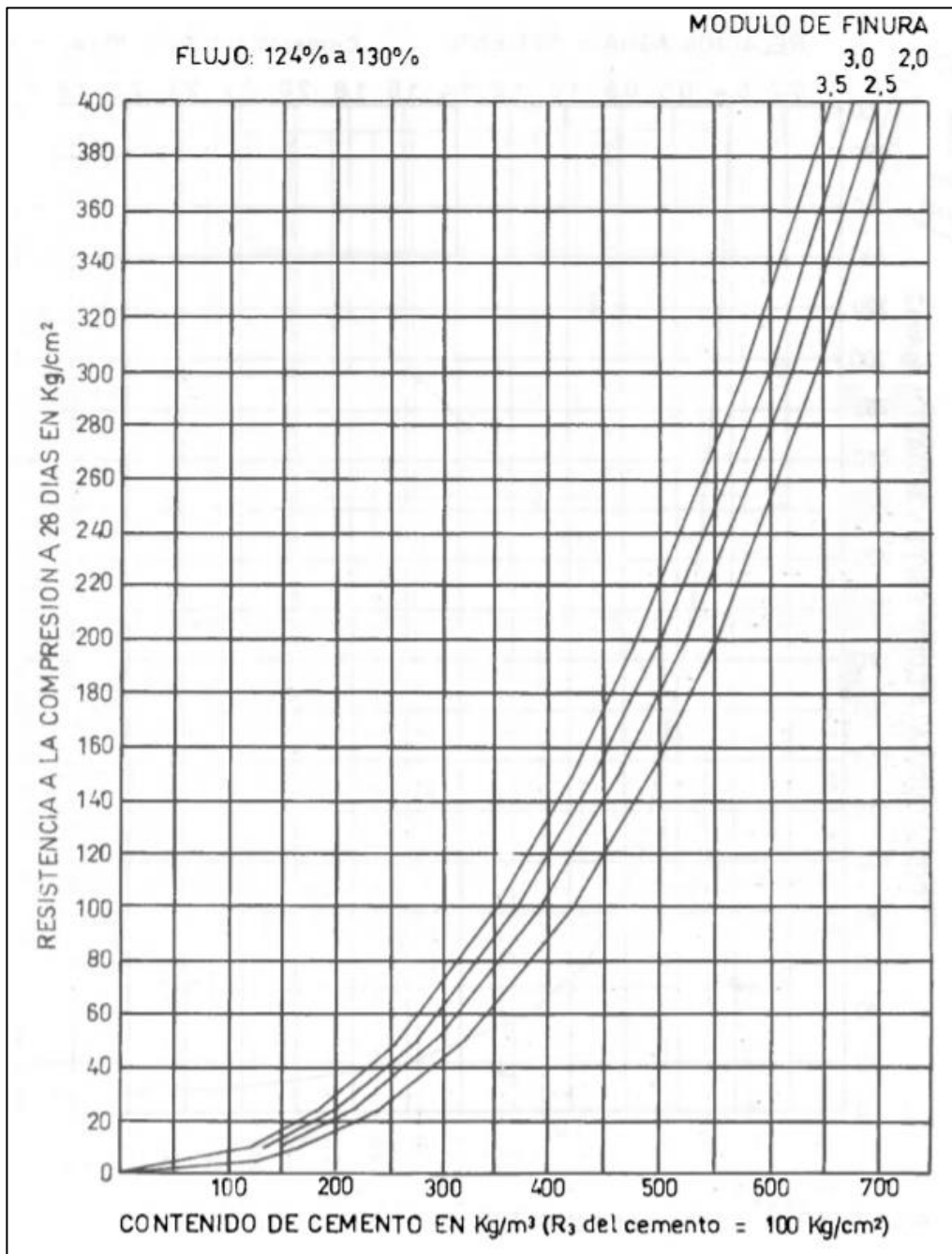
**Figura 17. Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 102 y 113%**



Fuente: (LÓPEZ, 2003)

- El cálculo de la dosis de cemento se realizó mediante el valor de la resistencia a la compresión, el módulo de finura del agregado fino y el flujo de la mezcla, comprendidos en la siguiente gráfica.

**Figura 18. Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 124 y 130%**



Fuente: (LÓPEZ, 2003)

### **2.3.5. Cantidad de agua**

El contenido de agua por m<sup>3</sup> se calculó partiendo de la relación agua/cemento y el contenido de cemento, es decir, el contenido de agua será igual a el producto del contenido de cemento por la relación agua/cemento.

### **2.3.6. Volumen de aire atrapado en la mezcla**

Para determinar el volumen de aire atrapado en la mezcla, se usó la siguiente fórmula:

$$V = C/P \text{ (Litros/m}^3\text{)}$$

En donde:

C = dosis de cemento, en Kg/m<sup>3</sup>

P = tamaño máximo del agregado grueso, en mm

Por efectos de la compactación de la mezcla en el concreto, siempre queda una pequeña cantidad de aire atrapado en ella. Según (Joaquín Porrero, 2009), “El volumen de aire atrapado depende de diversas variables y su cálculo preciso no es posible, pero basta una buena aproximación ya que su proporción siempre es pequeña (entre 10 y 20 litros de aire en un metro cúbico de concreto) y su influencia en el volumen absoluto de la mezcla no es decisiva.” Como no habrá agregado grueso en el diseño de la matriz o mezcla base de mortero de cemento en la investigación, el volumen de aire atrapado en nuestro diseño es absolutamente despreciable.

### **2.3.7. Contenido de arena**

Para el cálculo del contenido de arena se restó a un metro cúbico el volumen de cemento, el de agua y el de aire incluido.

$$V \text{ arena} = 1 - (V \text{ cemento} + V \text{ agua} + V \text{ aire})$$

La masa de la arena se obtuvo del volumen de la arena multiplicándose por la densidad de esta misma.

## 2.4. ELABORACIÓN CILINDROS

Para la elaboración de los cilindros, se tuvo en cuenta el diseño de mezcla planteado anteriormente en la metodología, ya que, este proporciono las cantidades que se debían emplear para la elaboración de estos. Fue de suma importancia tener presente las cantidades planteadas, debido a que, estas proporcionarían la resistencia de diseño.

Sumado a lo anterior, se elaboraron 30 cilindros, siendo 10 para cada tipo de agregado fino (arena), realizando 3 mezclas, puesto que, para cada tipo de arena las proporciones iban a ser diferentes.

Para la elaboración de los cilindros, se hizo uso de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 550 (ASTM C31), la cual especifica el proceso de elaboración y curado que se debe de llevar a cabo.

**Figura 19. Elaboración y curado de especímenes – NTC 550**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 550 (ASTM C 31)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
<b>OBJETO</b>	Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos de concreto.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	Con esta norma se asegura que todo el proceso de elaboración se haga de manera óptima, llevando siempre un control de calidad para verificar la eficiencia del curado y sobre todo para alcanzar la resistencia de diseño.

(ICONTEC, 2007)

## 2.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para poder reportar los resultados de manera precisa, se tuvo en cuenta la calibración de los equipos involucrados tanto en la toma de dimensiones (diámetro, altura, peso) como los equipos empleados en la falla de los cilindros. Sumado a lo anterior, se tuvo en cuenta la Norma Técnica Colombiana 673, en la cual se realiza una descripción de variables para tener en cuenta en este tipo de ensayo, esto con el objeto de que los resultados como el reporte de estos estén correctamente.

**Figura 20. Ensayo de resistencia a la compresión – NTC 673**

<b>NORMA</b>	<b>NTC 673 (ASTM C 39)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
<b>OBJETO</b>	Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para construcción.
<b>USO Y SIGNIFICADO</b>	Se debe tener especial cuidado con la interpretación de resultados de la resistencia a la compresión porque los valores dependen del tamaño y forma del espécimen, dosificación, los procedimientos de mezclado, edad y condiciones de humedad del curado.

Fuente: (ICONTEC, 2007)

## 2.6. DESVIACIÓN ESTANDAR

La desviación estándar se calculó partiendo de los resultados de esfuerzo obtenidos en la resistencia a la compresión, teniendo en cuenta el proceso que brinda la norma “REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-08”, la cual plantea la siguiente formula:

**Figura 21. Formula de la desviación estándar**

$$s_s = \left[ \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$$

Fuente: (ACI 318S-08)

Donde:

$s_s$  = Desviación estándar de la muestra, MPa ó Kg/cm<sup>2</sup>

$X_i$  = Ensayo individual de resistencia

$\bar{x}$  = Promedio de  $n$  resultados de ensayos de resistencia

$n$  = número de ensayos consecutivos de resistencia

## 2.7. ELABORACIÓN LÁMINAS

Para la elaboración de las láminas, se planteó diferentes espesores con diferentes proporciones de EPS y con una sola dosis de fibras de polipropileno en la matriz base (cemento, agua y arena), también, como punto clave de la fabricación de las láminas, se estudió el tipo de arena a usar, puesto que esta, debía ser la arena que tuvo mejor resistencia a la compresión en la mezcla matriz de los cilindros, garantizando una mayor resistencia en las láminas.

Las dimensiones planteadas en el presente proyecto para las láminas fueron de 0.6 m de largo y 0.3 m de ancho para facilidad de manejo y falla de estas mismas en el laboratorio debido a la máquina de falla a la flexión (MTS) con la que cuenta la Universidad Católica de Colombia. Los espesores planteados fueron de 10, 13, 20 y 25 mm, los cuales son los más comunes para láminas prefabricadas.

A continuación, se ilustran los diferentes tipos de mezclas que se desarrollaron para la elaboración de las láminas. (Ver figura 22)

**Figura 22. Consolidado de mezcla**

TIPO DE MEZCLA	COMPOSICIÓN MEZCLA
1	MEZCLA PATRÓN (ARENA, CEMENTO)
2	MEZCLA 40% EPS - 5% FIBRAS REFINADAS
3	MEZCLA 40% EPS - 5% FIBRAS RECICLADAS
4	MEZCLA 50% EPS - 5% FIBRAS REFINADAS
5	MEZCLA 50% EPS - 5% FIBRAS RECICLADAS
6	MEZCLA 60% EPS - 5% FIBRAS REFINADAS
7	MEZCLA 60% EPS - 5% FIBRAS RECICLADAS

Fuente: (Autores)

### 2.7.1. Mezcla matriz con polímeros

La matriz de concreto se compuso de una mezcla de arena, cemento hidráulico y agua, con una dosificación de estos materiales en proporciones tales que garantizarán, como mínimo, una resistencia a la compresión de 125 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días en probetas cilíndricas metálicas, desarmables, con medidas internas de 10



cm de diámetro y 20 cm de altura, con el objeto de obtener, para la dosificación mencionada, valores de entre 10 a 12,5 Kgf/cm<sup>2</sup> del Módulo de Rotura, en los ensayos pertinentes, lo cual se esperaba que produjera resultados aceptables a la flexión y de deflexiones en las placas elaboradas con la mezcla de la matriz de concreto y polímeros.

Las proporciones de EPS empleadas en la fabricación de las láminas, fueron de 40, 50 y 60% del volumen total de la mezcla matriz base más polímeros (cemento, agua, arena, EPS y fibras) para cada espesor planteado (10, 13, 20, 25 mm), asimismo, las fibras de polipropileno utilizadas en la elaboración de las láminas tuvieron un valor del 5% en volumen de la matriz base.

El proceso que se llevó a cabo para determinar la cantidad en volumen y peso de cada material empleado en la fabricación de las láminas fue el siguiente:

- Determinación del volumen total de la lámina a diseñar

$$V_{lámina} = Ancho \times Largo \times Espesor$$

- Determinación del volumen de EPS en la lámina

$$V_{EPS} = \%EPS \times V_{lámina}$$

- Determinación del volumen de mezcla matriz base

$$V_{mezcla} = V_{total} - V_{EPS}$$

- Cantidad de cemento, agua y arena partiendo del diseño base para el volumen de mezcla empleado para cada lámina

- Determinación del volumen de fibras en la mezcla matriz base

$$V_{fibras} = V_{mezcla} \times 5\%$$

Después de haber realizado los cálculos de volúmenes de materiales, se multiplica el volumen de cada material en la lámina por su respectiva densidad, para obtener la cantidad de material en peso.

### 2.7.2. Construcción láminas y curado

Se construyó 1 lámina muestra patrón para cada tamaño con el diseño matriz base (arena, cemento, agua), obteniendo un total de 4 láminas patrón en total, también, se elaboraron 24 láminas con las dimensiones ya establecidas en el ítem 2.7. "ELABORACIÓN LÁMINAS" con porcentajes de 40, 50 y 60 % de EPS de la mezcla para cada espesor planteado (10, 13, 20, 25 mm) con un porcentaje de fibras de polipropileno del 5%, realizando, 12 láminas con polipropileno refinado obtenido en el comercio de materiales de construcción y las 12 láminas restantes con polipropileno reciclado.

Los pasos empleados para la fabricación de las láminas fueron los siguientes:

1. Elaboración de formaletas:

Para la elaboración de las formaletas, se adquirieron los materiales para la construcción de estas y se cortaron teniendo en cuenta las dimensiones establecidas, asimismo, se buscó que el sistema diseñado en la formaleta fuese de fácil armado y desmonte para no afectar las láminas cuando estas estuviesen fundidas.

2. Fundición:

En la fundición, se tuvo en cuenta el uso de la formaleta aceitada, con la finalidad de que, al momento de desmontar la lámina fundida, esta no se adhiriera al molde.

También, se hizo uso del diseño de mezcla estipulado para cada lámina, de este modo, obteniendo los materiales a mezclar.

3. Desencofrado y curado:

El desencofrado de la lámina se realizó después de haber fraguado la mezcla, por otro lado, el curado se efectuó mediante el uso de la piscina de curado en la cual se sumergen las láminas en agua para que estas adquieran una mayor resistencia.

## **2.8. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LAS LÁMINAS**

Para poder determinar la resistencia a la flexión de las láminas, fue necesario caracterizar cada una de estas, determinando el peso y sus dimensiones promedio (largo, ancho, espesor).

El análisis a flexión de las láminas se ejecutó bajo la norma de referencia análisis de flexión en sistemas constructivos livianos Norma ASTM E-72.

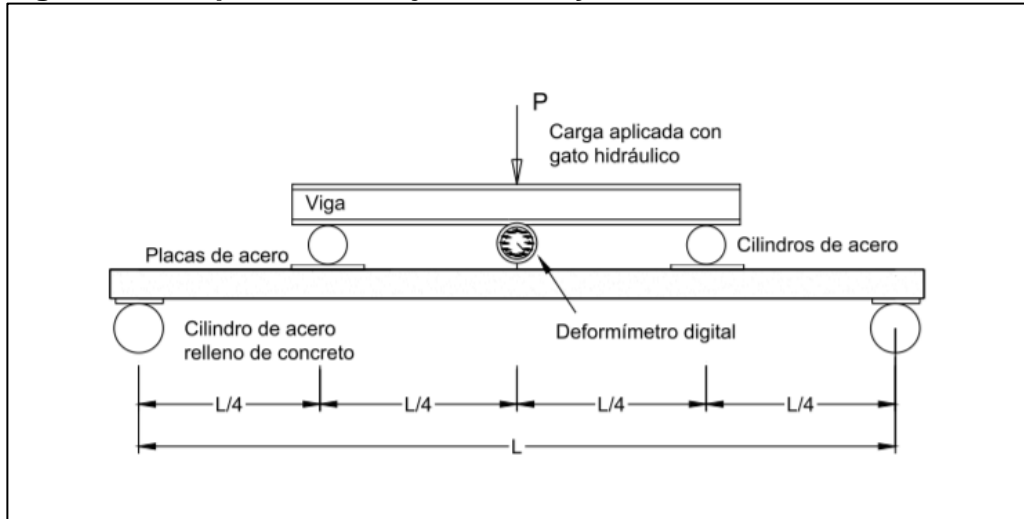
Esta norma consiste en la determinación de la resistencia a flexión de paneles livianos utilizados en paredes, donde la carga se aplica en dos puntos a los cuartos de longitud del elemento de ensayo y se miden las deflexiones al centro. El ensayo se realiza con el elemento ubicado de manera horizontal.

A continuación, se presenta un resumen del procedimiento a efectuar:

La aplicación de la carga se realiza en dos puntos ubicados a  $\frac{1}{4}$  de distancia entre apoyos, medidos desde cada apoyo y se realiza por medio de dos cilindros de acero con una placa entre el elemento y el cilindro. La carga se transmite a los cilindros por medio de una viga de carga.

Los deformímetros se ubican en el punto central de la longitud entre apoyos, en la parte superior del elemento. Se carga el elemento hasta la falla y se miden los desplazamientos en los deformímetros.

**Figura 23. Esquema montaje del ensayo.**



Fuente: (Materials)

El esfuerzo máximo para un ensayo de flexión en cuatro puntos se determinó partiendo de la siguiente ecuación.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3P(L - \frac{1}{2}L)}{wh^2}$$

Donde:

P= Carga aplicada

L= Luz

w= Ancho promedio

h= Espesor promedio

## **2.9. REPORTE DE RESULTADOS DE CARGA Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LAS LÁMINAS**

Se realizaron gráficas para los valores obtenidos para los tres tipos de lámina (muestra patrón, fibras refinadas, fibras recicladas) por cada espesor planteado (25, 20, 13, 10 mm) y por cada porcentaje de EPS implementado, donde se analiza la carga máxima de cada lámina y la deformación máxima obtenida por cada una de estas en las gráficas de Carga VS Desplazamiento.

Se reporta la curva **Carga VS Desplazamiento**, así como la carga máxima alcanzada concluyendo así el análisis propuesto en la Norma ASTM E-72 (Materials).

La metodología que se planteó en la presente investigación abarcó todos los procedimientos y normas establecidas para determinar la adquisición de los materiales a utilizar, la caracterización física de los materiales, el diseño de mezcla, la elaboración de los cilindros propuestos, la producción de las láminas planteadas, todo lo anterior distribuido mediante ítems, alcanzando cada uno de los objetivos tanto específicos como general.

### 3. RESULTADOS

El siguiente capítulo comprende el proceso y resultados que se llevaron a cabo para cada uno de los ítems planteados en el capítulo 2” METODOLOGÍA”, asimismo, ilustra por medio de imágenes y de tablas los procesos y resultados obtenidos de cada uno de los ítems de la metodología que comprenden la investigación.

#### 3.1. ADQUISICIÓN DE MATERIALES

La adquisición de materiales se llevó teniendo en cuenta la metodología planteada, a continuación, se presentan los resultados de la obtención de materiales.

##### 3.1.1. Arena de río

Los tres tipos de arena fueron adquiridos por medio de las empresas de comercialización de materiales de construcción HOMECENTER y EASY, puntos de venta con fácil accesibilidad comercialmente en la ciudad de Bogotá. Los tipos de arena obtenidos se muestra en la figura 24 del presente capítulo.

**Figura 24. Tipos de arena de río**



Fuente: (Autores)

##### 3.1.2. Cemento

En el caso del cemento, se eligió la empresa ARGOS, puesto que esta, es una empresa especializada en la fabricación de este material, asimismo, cuenta con los

estándares de calidad (ficha técnica). Sumado a lo anterior, esta empresa cuenta con diferentes puntos de venta en la ciudad de Bogotá, lo cual garantiza un fácil acceso al público para adquirir este material.

**Figura 25. Cemento ARGOS**

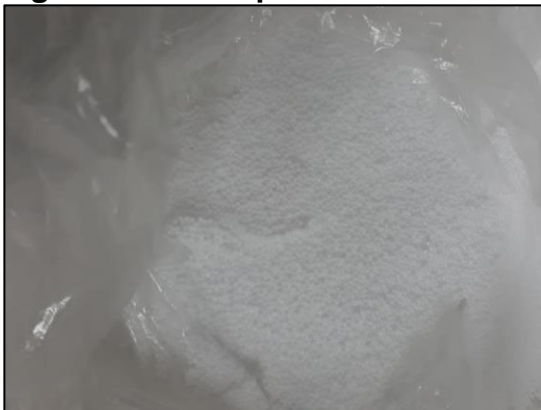


Fuente: (Autores)

### **3.1.3. Poliestireno expandido (EPS)**

En la obtención de las micro perlas de EPS (poliestireno expandido), la selección se realizó teniendo en cuenta los diámetros de la micro perla planteados en la metodología. La empresa que la produce en la ciudad de Bogotá se llama ECOLOPOR S.A.S.

**Figura 26. Micro perla EPS**



Fuente: (Autores)

### 3.1.4. Fibras de refuerzo

Las fibras de polipropileno fueron adquiridas en la empresa ABACOL, cumpliendo con las características mencionadas en la metodología del presente trabajo de investigación. Esta se encuentra en la ciudad de Bogotá, generando fácil acceso a este material por parte del público.

**Figura 27. Fibras de polipropileno**



Fuente: (Autores)

## 3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

La caracterización de los materiales se llevó mediante la metodología planteada en el ítem 2.2. A continuación, se muestran los resultados obtenidos. Además, se ilustran algunas imágenes del proceso de la caracterización.

### 3.2.1. Agregado fino (arena)

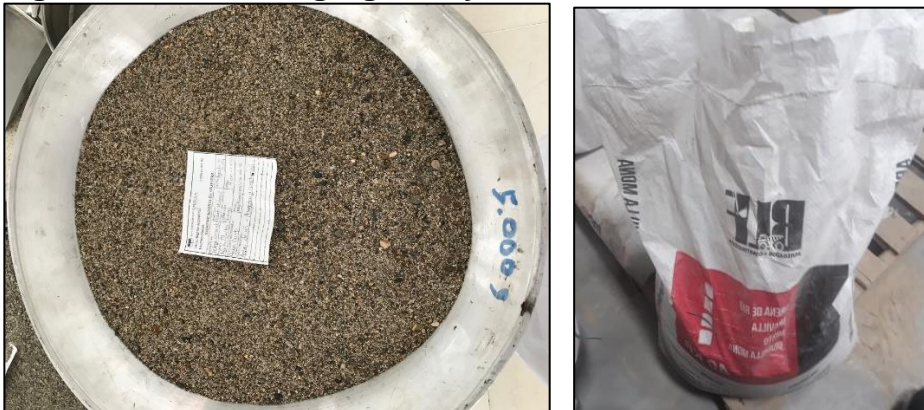
Los ensayos correspondientes para la caracterización física de las arenas se realizaron para los tres tipos de arena, las cuales fueron:

**Figura 28. Arena - Minas y Canteras**



Fuente: (Autores)

**Figura 29. Arena – Agregados y Construcción**



Fuente: (Autores)

**Figura 30. Arena - Caracas, San Javier**



Fuente: (Autores)



Como se puede observar, las arenas de río empleadas se diferencian por su color, esto relacionado directamente con la procedencia que tiene cada una de estas, ya que son de diferentes sitios, asimismo, se puede notar la finura que estas tienen por la textura que tenía cada una de estas.

### 3.2.1.1. Contenido de humedad

Contenido de humedad, Norma NTC 1776 (ASTM C566-89).

#### 3.2.1.1.1. Contenido de humedad – Agregados y Construcción

El contenido de humedad natural para el agregado fino de la empresa Agregados y Construcción es de 3.18%, en la figura 31 se muestra la diferencia de la arena en estado húmedo y seco.

**Figura 31. Peso muestra húmeda + recipiente y peso muestra seca + recipiente**



Fuente: (Autores)

**Tabla 1. Contenido de humedad – Agregados y construcción**

<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
<b>Nº DE RECIPIENTE</b>	1
<b>PESO MUESTRA HUM. + RECIP. (g)</b>	1205,1
<b>PESO MUESTRA SECA + RECIP. (g)</b>	1169,75
<b>PESO RECIPIENTE (g)</b>	56,9
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	3,18

Fuente: (Autores)

### **3.2.1.1.2. Contenido de humedad – Caracas – San Javier**

Se evidenció en la tabla 2 que el contenido de humedad reflejado para la arena de la empresa Caracas – San Javier contaba con un valor de 16.18%; este resultado es alto ya que, al momento de adquirir esta arena, las lonas contaban con cierto contenido de agua.

**Tabla 2. Contenido de humedad – Caracas – San Javier**

<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
<b>Nº DE RECIPIENTE</b>	2
<b>PESO MUESTRA HUM. + RECIP. (g)</b>	614,01
<b>PESO MUESTRA SECA + RECIP. (g)</b>	544,36
<b>PESO RECIPIENTE (g)</b>	113,97
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	16,18

Fuente: (Autores)

### **3.2.1.1.3. Contenido de humedad – Minas y Canteras**

Partiendo de los resultados plasmados en la tabla 3, el contenido de humedad con el que contó la arena de la empresa Minas y Canteras tuvo un valor de 8.61%; este

porcentaje de humedad es alto, puesto que, las lonas en las cuales venía empacada la arena se encontraban en la intemperie.

**Tabla 3. Contenido de humedad – Minas y Canteras**

<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
<b>N° DE RECIPIENTE</b>	3
<b>PESO MUESTRA HUM. + RECIP. (g)</b>	645,3
<b>PESO MUESTRA SECA + RECIP. (g)</b>	603,7
<b>PESO RECIPIENTE (g)</b>	120,5
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	8,61

Fuente: (Autores)

#### **3.2.1.1.4. Comparación contenidos de humedad**

Luego de haber realizado el cálculo de contenido de humedad para cada tipo de arena, se establece que la diferencia entre porcentajes de humedad se debe a la procedencia de cada una siendo estas de diferentes sitios, sumado a esto, se puede decir que el contenido de humedad es relativamente alto debido a que, los tres tipos de arena son de río. (Ver tabla 4)

**Tabla 4. Resultados contenidos de humedad**

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD W(%)</b>	<b>AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CARACAS – SAN JAVIER</b>	<b>MINAS Y CANTERAS</b>
	3,18	16,18	8,61

Fuente: (Autores)

### 3.2.1.2. Masas unitarias

Masas unitarias, Norma NTC 92 (ASTM C 29M-91a).

Los materiales para el ensayo de masas unitarias se reflejan en la figura 32.

**Figura 32. Materiales para el ensayo de masas unitarias**



Fuente: (Autores)

#### 3.2.1.2.1. Masas unitarias – Agregados y Construcción

El agregado fino de la empresa Agregados y Construcción presentó un peso unitario seco suelto de  $1,919 \text{ gr/cm}^3$ , asimismo, contó con un peso unitario seco apisonado de  $2,051 \text{ gr/cm}^3$ , con una humedad del 0% debido a que, al momento de realizar el ensayo, el material se encontraba seco.

**Tabla 5. Masa unitaria suelta - Agregados y Construcción**

ARENA DE RIO AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN		
Volumen del molde, cm <sup>3</sup> :	3020	Humedad material, %:
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>		
ENSAYO No.	1	PESO gr
1		5789
2		5766,5
3		5824,5
PESO PROMEDIO (gr)		5793
PESO UNITARIO HUMEDO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,919
PESO UNITARIO SECO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,919
% VACIOS		99,92642687

Fuente: (Autores)

**Tabla 6. Masa unitaria compactada – Agregados y Construcción**

<b>PESO UNITARIO APISONADO</b>		
ENSAYO No.	2	PESO gr
1		6172,5
2		6194
3		6209
PESO PROMEDIO (gr)		6192
PESO UNITARIO HUMEDO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		2,051
PESO UNITARIO SECO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		2,051
% VACIOS		99,92136607

Fuente: (Autores)

### 3.2.1.2.2. Masas unitarias – Minas y Canteras

El agregado fino de la empresa Minas y Canteras presentó un peso unitario seco suelto de 1,851 gr/cm<sup>3</sup>, asimismo, contó con un peso unitario seco apisonado de 1,990 gr/cm<sup>3</sup>, con una humedad del 0% debido a que, al momento de realizar el ensayo, el material se encontraba seco.

**Tabla 7. Masa unitaria suelta – Minas y Canteras**

ARENA DE RIO MINAS Y CANTERAS			
<b>Volumen del molde, cm<sup>3</sup>:</b>	3020	<b>Humedad material, %:</b>	
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
ENSAYO No.	1	PESO gr	
1		5589	
2		5573	
3		5603	
PESO PROMEDIO (gr)		5588	
PESO UNITARIO HUMEDO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,851	
PESO UNITARIO SECO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,851	
% VACIOS		99,92412281	

Fuente: (Autores)

**Tabla 8. Masa unitaria compactada – Minas y Canteras**

<b>PESO UNITARIO APISONADO</b>			
ENSAYO No.	2	PESO gr	
1		6020,5	
2		6012,5	
3		5995	
PESO PROMEDIO (gr)		6009	
PESO UNITARIO HUMEDO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,990	
PESO UNITARIO SECO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,990	
% VACIOS		99,91840657	

Fuente: (Autores)

### 3.2.1.2.3. Masas unitarias – Caracas - San Javier

El agregado fino de la empresa Caracas – San Javier presentó un peso unitario seco suelto de 1,783 gr/cm<sup>3</sup>, asimismo, contó con un peso unitario seco apisonado de 1,930 gr/cm<sup>3</sup>, con una humedad del 0% debido a que, al momento de realizar el ensayo, el material se encontraba seco.

**Tabla 9. Masa unitaria suelta – Caracas – San Javier**

ARENA DE RIO CARACAS - SAN JAVIER		
<b>Volumen del molde, cm<sup>3</sup>:</b>	3020	<b>Humedad material, %:</b>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>		
ENSAYO No.	1	PESO gr
1		5376,5
2		5384
3		5389,5
PESO PROMEDIO (gr)		5383
PESO UNITARIO HUMEDO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,783
PESO UNITARIO SECO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,783
% VACIOS		99,92885659

Fuente: (Autores)

**Tabla 10. Masa unitaria compactada – Caracas – San Javier**

<b>PESO UNITARIO APISONADO</b>		
ENSAYO No.	2	PESO gr
1		5847,5
2		5780
3		5856
PESO PROMEDIO (gr)		5828
PESO UNITARIO HUMEDO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,930
PESO UNITARIO SECO APISONADO (gr/cm <sup>3</sup> )		1,930
% VACIOS		99,9229823

Fuente: (Autores)

Después de haber realizado el cálculo de todas las masas unitarias para cada tipo de arena, se obtuvieron valores entre 1.93 y 2.05 gr/cm<sup>3</sup> para el método compactado, y para el método suelto se obtuvieron valores que oscilan entre 1.78 y 1.91 gr/cm<sup>3</sup>, perteneciendo los valores más grandes a la arena que proviene de la empresa Agregados y Construcción. El porcentaje de vacíos se mantuvo similar para todos los tipos de arena que se estudiaron en la presente investigación.

### 3.2.1.3. Densidad y absorción

Densidad y absorción, NTC 237 (ASTM C 128-93).

Los resultados de densidad y absorción se encuentran en la tabla 11, en la cual se ilustran los valores hallados para cada tipo de arena, además, en la figura 33 se muestran los materiales que se emplearon en el presente ensayo. Para poder apreciar todo el proceso que se llevó a cabo en el ensayo de densidad y absorción dirigirse al anexo 1.



**Figura 33. Materiales para el ensayo de densidad y absorción**



Fuente: (Autores)

**Tabla 11. Densidad y absorción**

VARIABLES	NOMBRE VARIABLE	UND	ECUACIÓN	AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN	MINAS Y CANTERAS	CARACAS - SAN JAVIER
A	PESO MUESTRA SECA	gr	TOMADO	494,94	489,94	488,75
	PESO FRASCO ( MATRAX )	gr	TOMADO	150,41	167,96	162,97
B	PESO ( MATRAX ) LLENO DE AGUA	gr	TOMADO	651,11	666,37	659,55
C	PESO FRASCO + MUESTRA + AGUA	gr	TOMADO	962,15	966,38	965,38
S	PESO MUESTRA S.S.S.	gr	TOMADO	500	500	500
Ds aparente	PESO ESPECIFICO APARENTE	gr/cm3	$0,9975 \cdot A / (B+S-C)$	2,613	2,444	2,511
Ds aparente (base sss)	PESO ESPECIFICO APARENTE S.S.S	gr/cm3	$0,9975 \cdot S / (B+S-C)$	2,639	2,494	2,569
Ds nominal	PESO ESPECIFICO NOMINAL	gr/cm3	$0,9975 \cdot A / (B+A-C)$	2,685	2,573	2,665
Absorción	ABSORCIÓN	%	$(S-A) / A \cdot 100$	1,0	2,1	2,3

Fuente: (Autores)

Después de haber realizado el cálculo de todas las densidades junto con la absorción para cada tipo de arena teniendo en cuentas las fórmulas establecidas en la Norma NTC 237 (ASTM C 128-93), se puede concluir que la arena de Agregados y Construcción presenta densidades (aparente, estado triple sss, nominal) mayores en comparación a las otras arenas, lo cual indica que este tipo de arena cuenta con un menor contenido de vacíos en comparación de las otras estudiadas. Asimismo, este tipo de arena es la que presenta el menor porcentaje de absorción causando que esta se comporte de una manera eficaz al momento de realizar la mezcla base tanto para el diseño de los cilindros como para el diseño de las láminas.

### 3.2.1.4. Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos

Análisis por tamizado, Norma NTC 77 (ASTM C136-92).

A continuación, se muestran algunas imágenes que evidencian el proceso que se llevó a cabo con los tamices y el agregado (ver figura 34). Para poder observar todo el proceso llevado a cabo en este ensayo, dirigirse al anexo 2.

**Figura 34. Materiales para el ensayo análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos**



Fuente: (Autores)

#### 3.2.1.4.1. Análisis por tamizado – Agregados y Construcción

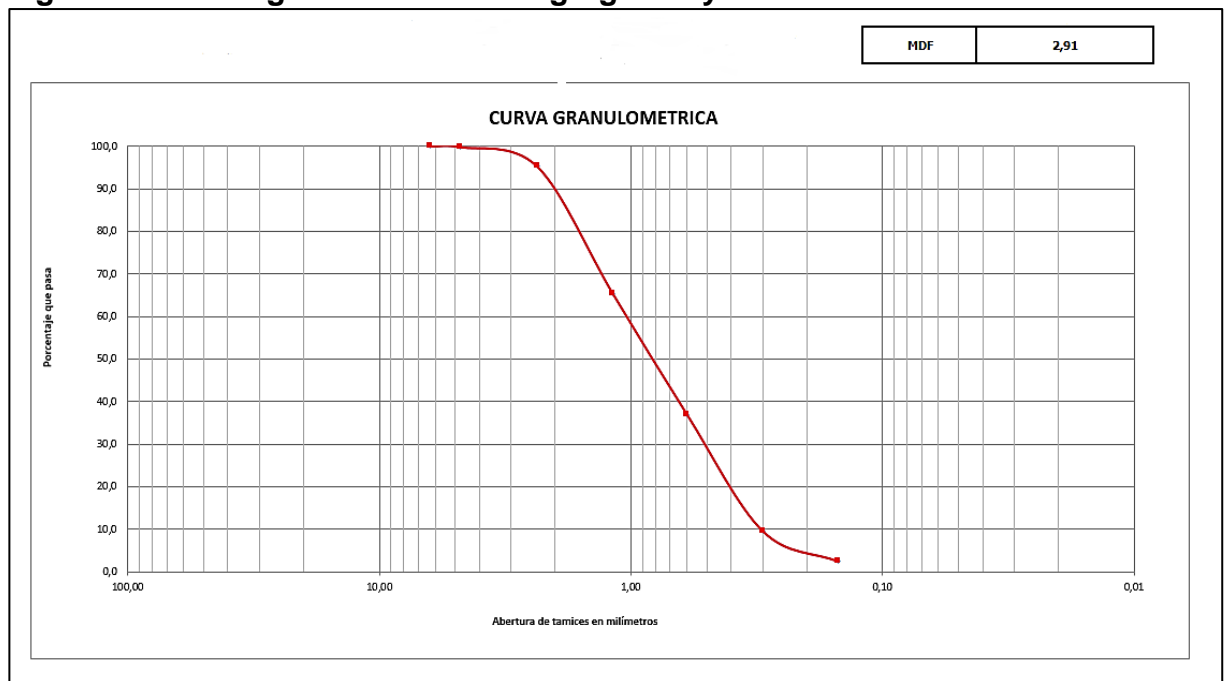
El análisis granulométrico correspondiente para la arena de la empresa Agregados y Construcción, se puede evidenciar en la tabla 12, en la cual se expresan los resultados obtenidos del análisis por tamizado, los cuales se emplearon para determinar la curva granulométrica y el módulo de finura. (Ver figura 35)

**Tabla 12. Análisis por tamizado – Agregados y Construcción**

TAMIZ		PESO BRUTO RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA (g)	% RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA TAMIZ DE REFERENCIA CORREGIDO
PULGADAS	mm				
1/4"	6,30	0,00	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,75	1,87	0,2	0,2	99,8
No. 8	2,36	50,55	4,5	4,7	95,3
No. 16	1,180	332,87	30,0	34,7	65,3
No. 30	0,600	314,79	28,3	63,0	37,0
No. 50	0,300	304,90	27,4	90,4	9,6
No. 100	0,150	79,20	7,1	97,6	2,4

Fuente: (Autores)

**Figura 35. Curva granulométrica - Agregados y Construcción**



Fuente: (Autores)

El módulo de finura obtenido para la curva granulométrica de la arena de la empresa Agregados y Construcción obtuvo un valor de 2.91, siendo este, un valor común en los diseños de mezcla.

### 3.2.1.4.2. Análisis por tamizado – Minas y Canteras

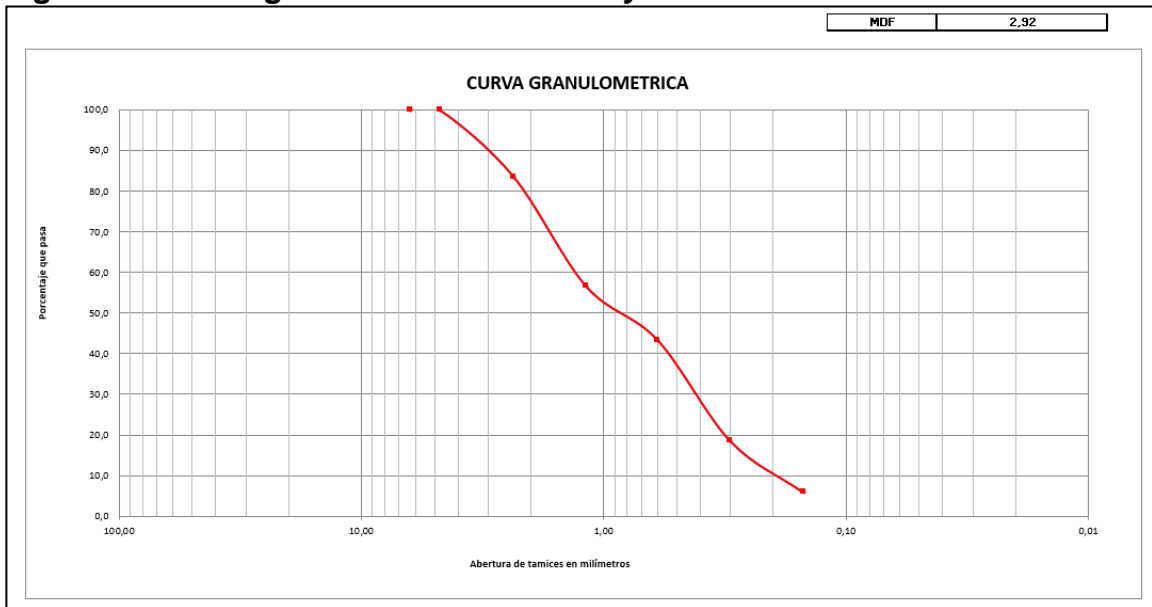
El análisis granulométrico correspondiente para la arena de la empresa Minas y Canteras, se puede observar en la tabla 13, en la cual se expresan los resultados obtenidos del análisis por tamizado, los cuales se emplearon para determinar la curva granulométrica y el módulo de finura. (Ver figura 36)

**Tabla 13. Análisis por tamizado – Minas y Canteras**

TAMIZ		PESO BRUTO RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA (g)	% RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA TAMIZ DE REFERENCIA CORREGIDO
PULGADAS	mm				
1/4"	6,30	0,00	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,75	1,77	0,2	0,2	99,8
No. 8	2,36	163,83	16,3	16,5	83,5
No. 16	1,180	271,90	27,0	43,5	56,5
No. 30	0,600	132,22	13,1	56,6	43,4
No. 50	0,300	250,39	24,9	81,5	18,5
No. 100	0,150	126,85	12,6	94,1	5,9

Fuente: (Autores)

**Figura 36. Curva granulométrica - Minas y Canteras**



Fuente: (Autores)

El módulo de finura obtenido para la granulometría de la arena de la empresa Minas y Canteras obtuvo un valor de 2.92, siendo este, un valor común en los diseños de mezcla.

### 3.2.1.4.3. Análisis por tamizado – Caracas – San Javier

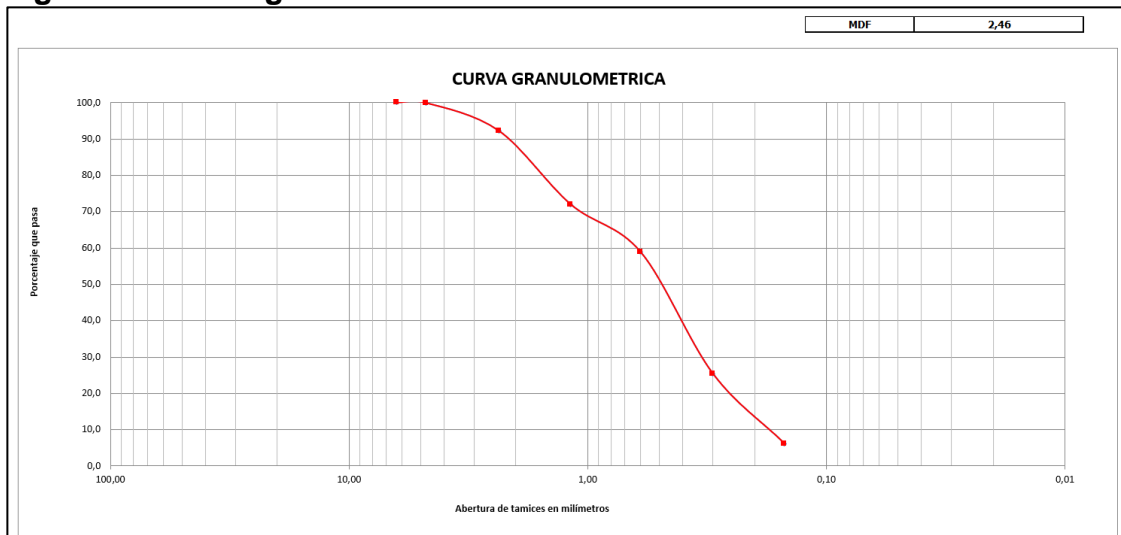
El análisis granulométrico correspondiente para la arena de la empresa Caracas – San Javier, se puede apreciar en la tabla 14, en la cual se expresan los resultados obtenidos del análisis por tamizado, los cuales se emplearon para determinar la curva granulométrica y el módulo de finura. (Ver figura 37)

**Tabla 14. Análisis por tamizado – Caracas – San Javier**

TAMIZ		PESO BRUTO RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA (g)	% RETENIDO TAMIZ DE REFERENCIA	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA TAMIZ DE REFERENCIA CORREGIDO
PULGADAS	mm				
1/4"	6,30	0,00	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,75	1,37	0,1	0,1	99,9
No. 8	2,36	79,17	7,6	7,8	92,2
No. 16	1,180	209,75	20,3	28,0	72,0
No. 30	0,600	136,28	13,2	41,2	58,8
No. 50	0,300	345,16	33,3	74,5	25,5
No. 100	0,150	200,04	19,3	93,9	6,1

Fuente: (Autores)

**Figura 37. Curva granulométrica - Caracas – San Javier**



Fuente: (Autores)

El módulo de finura obtenido para la curva granulométrica de la arena de la empresa Caracas – San Javier obtuvo un valor de 2,46.

#### **3.2.1.4.4. Análisis comparativo**

Realizando un análisis comparativo entre los tres tipos de arena, se concluye que la arena de la empresa Agregados y Construcción presenta una mejor gradación en comparación de las otras, debido a que, esta presenta una curva granulométrica más estable sin variaciones manteniendo una pendiente uniforme.

Analizando los módulos de finura obtenidos para cada tipo de arena, se determina que la arena de la empresa Agregados y Construcción y la empresa Minas y Canteras cuentan con un módulo de finura similar, ya que sus valores se encuentran entre 2.91 y 2.92, siendo estas un tipo de arena mediana; asimismo, la arena de la empresa Caracas – San Javier presenta un módulo de finura con valor de 2.46, presentando este tipo de arena una tendencia a ser un agregado fino (arena).


#### **3.2.2. Cemento**

Para la caracterización del cemento se aplicó la metodología planteada en el ítem 2.2.2, obteniendo un resultado de densidad con un valor de:

$$Densidad = 2968 \text{ kg/m}^3$$

Para los valores de tiempo de fraguado y consistencia normal (ver figura 38), donde se observa la ficha técnica del material.

**Figura 38. Ficha técnica cemento ARGOS**


 <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:</b>			
PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121:2014 TIPO UG
Finura	Blaine, mín. (cm <sup>2</sup> /gr)	NTC 33	A
	Retenido Tamiz 45 μm (%)	NTC 294	A
Cambio de longitud por autoclave expansión, máx. (%)		NTC 107	0.80
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat <sup>B</sup>	No menos de, minutos	NTC 118	45
	No más de, minutos	NTC 118	420
Contenido de Aire en volumen de mortero, máx (%)		NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx. (%)		NTC 4927	0.020
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)			
3 días		NTC 220	8.0
7 días		NTC 220	15.0
28 días		NTC 220	24.0
A: Los resultados de estos ensayos deben ser informados en todos los reportes que sean solicitados. B: El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la <b>NTC 118</b> .			

Fuente: (ARGOS, 2018)

### 3.2.3. Micro perlas de EPS (poliestireno expandido)

Para la caracterización del EPS, se hizo uso de la ficha técnica suministrada por el distribuidor y fabricante del material (ver figura 39). La densidad del poliestireno expandido tuvo como valor de 25 Kg/cm<sup>3</sup>.

**Figura 39. Ficha técnica poliestireno expandido (EPS)**

 <b>FICHA TÉCNICA MICRO PERLA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)</b>			
NOMBRE:	Micro perla de poliestireno expandido (EPS)		
TIPO:	Granulado	COLOR:	Blanco
MATERIAL:	Perlas de poliestireno expandible	DIMENSION:	Diámetro entre 1.5 y 2 mm.

**Descripción física**  
Perla granulada de poliestireno expandido, material suave y blando. Este material se caracteriza por ser hidrofóbico.

**Características de uso**  
Se utiliza para relleno de puf, relleno para muñecos, morteros y hormigones livianos, para alivianar placas, sobre losas y afines.




**TAMAÑO Y DENSIDAD:**  
El tamaño con el que cuenta la micro perla de EPS (poliestireno expandido) hace referencia a sus diámetros, este valor oscila entre 1.5 y 2 mm.  
La densidad con la que cuenta este material toma un valor de 25 Kg/m<sup>3</sup>.

**FORMA DE EMPAQUE:**  
En bolsa plástica transparente se empaqueta y se pesa 1 kilogramo de micro perla de EPS. Esta cantidad puede variar según la requerida por el usuario.

**IMPACTO AMBIENTAL:**

- No daña la capa de ozono ni produce cloro-fluorocarbonos.
- Es un producto higiénico.
- Inerte
- Reciclable.

**COMPOSICIÓN:**  
Este material cuenta con una composición del 95% de poliestireno y 5% de pentano.

Fuente: (ECOLOPOR, 2016)

### 3.2.4. Fibras de polipropileno

Las fibras de polipropileno fueron caracterizadas mediante la ficha técnica de la empresa ABACOL. Las fibras de refuerzo empleadas en la presente investigación contaron con un diámetro promedio de 0.6, manteniéndose en el intervalo de 0.2 a 1.0 mm, valores planteados en la metodología de la presente investigación. Para ver todas las propiedades del material (ver figura 40).



Figura 40. Ficha técnica fibras de polipropileno

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
<i>Diámetro promedio</i>	<i>mm</i>	0.6
<i>Tipo de macrofibra</i>	<i>N.A.</i>	<i>Sintética</i>
<i>Longitud</i>	<i>mm</i>	55
<i>Fibras por Kg promedio</i>	<i>und</i>	36600
<i>Dosificación frecuente</i>	<i>Kg/m<sup>3</sup></i>	3,0 a 6,0
<i>Fibras por m<sup>3</sup>(con dosificación promedio)</i>	<i>und</i>	183000
<i>Gravedad específica</i>	<i>Gr/cm<sup>3</sup></i>	1,27
<i>Resistencia máxima a la tensión</i>	<i>Mpa</i>	524
<i>Modulo de elasticidad promedio</i>	<i>Gpa</i>	4,8
<i>Textura Superficial</i>	<i>N.A.</i>	<i>Marcado de Máximo Anclaje</i>
<i>Punto de fusión</i>	<i>°C</i>	260
<i>Presentación empaque soluble</i>	<i>N.A.</i>	<i>Si</i>
<i>Relación de aspecto</i>	<i>N.A.</i>	92
<i>Color</i>	<i>N.A.</i>	<i>Gris metálico</i>
<i>Absorción</i>	<i>N.A.</i>	<i>NULA</i>
<i>Resistencia a sales y ácidos</i>	<i>N.A.</i>	<i>ALTA</i>
<i>Resistencia al álcali</i>	<i>N.A.</i>	<i>ALTA</i>
<i>Resistencia a mono-hongos</i>	<i>N.A.</i>	<i>ALTA</i>
<i>Conductividad eléctrica</i>	<i>N.A.</i>	<i>BAJA</i>
<i>Conductividad térmica</i>	<i>N.A.</i>	<i>BAJA</i>

Fuente: (ABACOL, 2018)

### 3.3. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla correspondiente para todas las arenas se planteó teniendo en cuenta la resistencia específica requerida a los 28 días, además, se tuvo en cuenta la resistencia promedio a la compresión requerida y la caracterización de cada tipo de arena empleada.

#### 3.3.1. Diseño de mezcla – Agregados y Construcción

Los datos requeridos para el diseño de mezcla de Agregados y Construcción se establecieron en la tabla 15.

**Tabla 15. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Agregados y Construcción**

DATOS REQUERIDOS	
<b>F<sub>c</sub></b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 DÍAS)	125 Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>F<sub>cr</sub></b> RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA (28 DÍAS)	205 Kgf/cm <sup>2</sup>
DENSIDAD DEL CEMENTO	2968 Kg/m <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2685 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA	1919 Kg/m <sup>3</sup>
MODULO DE FINURA	2,91
ABSORCIÓN	1%
CONTENIDO DE HUMEDAD	3,18%

Fuente: (Autores)

- Dosificación para un m<sup>3</sup>:  
A continuación, se presentan los valores calculados para el diseño de mezcla por m<sup>3</sup>, el proceso de esta dosificación se puede observar en los anexos (ver anexo 3).

**Tabla 16. Dosificación por m<sup>3</sup>**

MATERIAL	PESO (Kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	450 Kg
AGUA	280 L
ARENA	1525,08 Kg

Fuente: (Autores)

- Dosificación para la elaboración de los cilindros (probetas):  
Para la dosificación empleada en el diseño de mezcla de los 10 cilindros de dimensiones 10x20 cm, se realizaron los respectivos cálculos (ver anexo 3). En la tabla 17, se ilustra el diseño de mezcla empleado con la arena de la empresa Agregados y Construcción.

**Tabla 17. Dosificación cilindros – Agregados y Construcción**

MATERIAL	CANTIDAD
CEMENTO	7,821 Kg
AGUA	4,86 L
ARENA	26,5 Kg

Fuente: (Autores)

### **3.3.2. Diseño de mezcla – Minas y Canteras**

Los datos requeridos para el diseño de mezcla de Minas y Canteras se establecieron en la tabla 18.

**Tabla 18. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Minas y Canteras**

DATOS REQUERIDOS	
<b>F<sub>c</sub></b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 DÍAS)	125 Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>F<sub>cr</sub></b> RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA (28 DÍAS)	205 Kgf/cm <sup>2</sup>
DENSIDAD DEL CEMENTO	2968 Kg/m <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2573 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA	1851 Kg/m <sup>3</sup>
MODULO DE FINURA	2,92
ABSORCIÓN	2,1%
CONTENIDO DE HUMEDAD	8,61%

Fuente: (Autores)

- Dosificación para un m<sup>3</sup>:  
A continuación, se presentan los valores calculados para el diseño de mezcla por m<sup>3</sup>, el proceso de esta dosificación se puede observar en los anexos. (Ver anexo 4).

**Tabla 19. Dosificación por m<sup>3</sup>**

MATERIAL	PESO (Kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	450 Kg
AGUA	280 L
ARENA	1461,46 Kg

Fuente: (Autores)

- Dosificación para la elaboración de los cilindros (probetas):  
Para la dosificación empleada en el diseño de mezcla de los 10 cilindros de dimensiones 10x20 cm, se realizaron los respectivos cálculos (ver anexo 4). En la tabla 20, se ilustra el diseño de mezcla empleado con la arena de la empresa Minas y Canteras.

**Tabla 20. Dosificación cilindros – Minas y Canteras**

MATERIAL	CANTIDAD
CEMENTO	7,821 Kg
AGUA	4,86 L
ARENA	25,4 Kg

Fuente: (Autores)

### **3.3.3. Diseño de mezcla – Caracas – San Javier**

Los datos requeridos para el diseño de mezcla de Caracas – San Javier se establecieron en la tabla 21.

**Tabla 21. Datos requeridos para el diseño de mezcla – Caracas – San Javier**

DATOS REQUERIDOS	
<b>F<sub>c</sub></b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 DÍAS)	125 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>F<sub>cr</sub></b> RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA (28 DÍAS)	205 Kg/cm <sup>2</sup>
DENSIDAD DEL CEMENTO	2968 Kg/m <sup>3</sup>
PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA	2665 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA	1783 Kg/m <sup>3</sup>
MODULO DE FINURA	2,46
ABSORCIÓN	2,3%
CONTENIDO DE HUMEDAD	16,18%

Fuente: (Autores)

- Dosificación para un m<sup>3</sup>:  
A continuación, se presentan los valores calculados para el diseño de mezcla por m<sup>3</sup>, el proceso de esta dosificación se puede observar en los anexos (ver anexo 5).

**Tabla 22. Dosificación por m<sup>3</sup>**

MATERIAL	PESO (Kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	450 Kg
AGUA	280 L
ARENA	1513,72 Kg

Fuente: (Autores)

- Dosificación para la elaboración de los cilindros (probetas):  
Para la dosificación empleada en el diseño de mezcla de los 10 cilindros de dimensiones 10x20 cm, se realizaron los respectivos cálculos (ver anexo 5). En la tabla 23, se ilustra el diseño de mezcla empleado con la arena de la empresa Caracas – San Javier.

**Tabla 23. Dosificación cilindros – Caracas – San Javier**

MATERIAL	CANTIDAD
CEMENTO	7,821 Kg
AGUA	4,86 L
ARENA	26,3 Kg

Fuente: (Autores)

El diseño de mezcla para los tres tipos de arena se caracterizó por tener en común la relación agua/cemento, puesto que, se quería realizar una comparación entre los agregados empleados, enfatizando en la resistencia que iba a llegar a tener cada uno a los 28 días, por esta razón, la cantidad de agua y cemento en el caso de los tres diseños es la misma, sin embargo, la cantidad de arena varía en cada tipo, debido a que, este valor está relacionado con la densidad con la que cuenta cada tipo de agregado.

### **3.4. ELABORACIÓN DE CILINDROS**

La fabricación de estos cilindros (probetas) estuvo guiada por los diseños de mezcla planteados en el capítulo 3.3 “Diseño de mezcla” para cada tipo de arena; para observar el proceso completo que se llevó a cabo en la producción de estas probetas dirigirse a los anexos (ver anexo 6).

- Mezcla de material.

**Figura 41. Mezclado de agregado para cilindros**



Fuente: (Autores)

- Elaboración de cilindros.

**Figura 42. Fundición de cilindros**



Fuente: (Autores)



- Identificación y curado de muestras.

**Figura 43. Identificación y fraguado de los cilindros (probetas)**



Fuente: (Autores)

### 3.5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS CILINDROS (PROBETAS)

La caracterización de las probetas se realizó de acuerdo con la planteado en la metodología, efectuando los ensayos a compresión de 9 cilindros, para posteriormente, llevar a cabo la falla de 3 cilindros a los 7 días de fraguado, 3 cilindros a los 14 días de fraguado y 3 cilindros a los 28 días de fraguado. Lo anterior descrito, se desarrolló para los tres tipos de arena y se puede observar en anexos (ver anexo 7).

Dicho lo anterior, se procede a mostrar la resistencia promedio de los cilindros para cada tiempo de fraguado y, asimismo, para cada tipo de arena.

#### 3.5.1. Caracterización mecánica de los cilindros – Agregados y Construcción

**Tabla 24. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Agregados y Construcción**

RESISTENCIA CILINDROS - AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN						
TIEMPO (DIA)	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KgF)	CARGA (kN)	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	23,966	10,151	20,223	5910,861	57,967	73,035
14	3,535	10,164	20,301	7915,931	77,630	97,554
28	3,558	10,079	20,279	10715,69	105,087	134,300

Fuente: (Autores)

### 3.5.2. Caracterización mecánica de los cilindros – Minas y Canteras

**Tabla 25. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Minas y Canteras**

RESISTENCIA CILINDROS - MINAS Y CANTERAS						
TIEMPO (DIA)	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KgF)	CARGA (kN)	ESFUERZO (Kgf/cm2)
7	3,502	10,161	20,410	4316,730	42,333	53,233
14	3,457	10,150	20,381	5105,638	50,070	63,100
28	3,518	10,157	20,419	8126,70	79,697	100,296

Fuente: (Autores)

### 3.5.3. Caracterización mecánica de los cilindros – Caracas – San Javier

**Tabla 26. Resistencia promedio a la compresión de los cilindros – Caracas – San Javier**

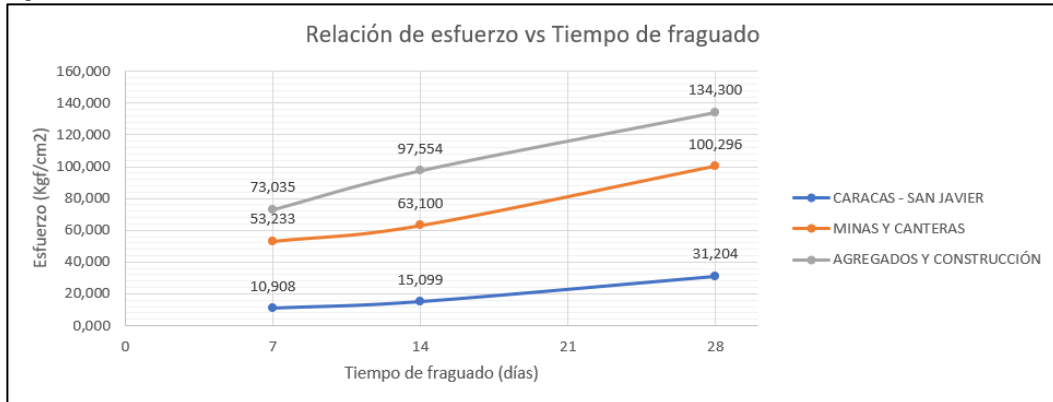
RESISTENCIA CILINDROS CARACAS - SAN JAVIER						
TIEMPO (DIA)	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA (KgF)	CARGA (kN)	ESFUERZO (Kgf/cm2)
7	3,058	10,071	20,321	868,920	8,521	10,908
14	3,161	10,043	20,434	1196,108	11,730	15,099
28	3,177	10,054	20,022	2477,531	24,297	31,204

Fuente: (Autores)

Como resultado de los datos expuestos anteriormente en las tablas 24, 25 y 26 del capítulo 3.5 “Caracterización mecánica de las probetas” se puede concluir que, la arena que cumplió para la resistencia a la compresión de 125 Kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días fue la arena de la empresa Agregados y Construcción con un valor de 134 Kgf/cm<sup>2</sup>, la cual cuenta con un módulo de finura de 2.91 y una densidad de 2685 Kg/m<sup>3</sup>.

Por otra parte, los cilindros elaborados con la arena de la empresa Minas y Canteras, la cual cuenta con un módulo de finura de 2.92 y una densidad de 2573 Kg/m<sup>3</sup>., alcanzo una resistencia promedio a los 28 días de 100 Kgf/cm<sup>2</sup>, en lo cual se concluye que esta arena no cumple con la resistencia requerida de 125 Kgf/cm<sup>2</sup>. También, en el caso de la arena de la empresa Caracas – San Javier, la cual cuenta con un módulo de finura de 2.46 y una densidad de 2665 Kg/m<sup>3</sup>., fue la que obtuvo la resistencia más baja en comparación de las tres arenas en estudio, con un valor de 31 Kgf/cm<sup>2</sup>, a los 28 días, por lo tanto, no alcanzo ni a un 30 % de la resistencia requerida a la compresión.

**Figura 44. Curva comparativa de resistencia a la compresión para los tres tipos de arena.**



Fuente: (Autores)

En la curva comparativa de resistencia a la compresión para los tres tipos de arena (ver figura 44), se pudo evidenciar los resultados experimentales acerca de la relación de la resistencia a la compresión y los tiempos de fraguado, en la cual, la arena de la empresa Agregados y Construcción presenta los valores de esfuerzo más altos a los 7 días, a los 14 días y a los 28 días en comparación de los otros tipos de arena.

### 3.6. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar se calculó partiendo de la ecuación de la figura 21 “fórmula de la desviación estándar”, la cual se encuentra en el ítem 2.6 de la metodología, en los cuales se tomaron todos los valores de esfuerzo en  $\text{Kgf/cm}^2$  obtenidos a los 7 días, a los 14 días y a los 28 días de la resistencia a la compresión para todos los tipos de arena. En la tabla 27, 28 Y 29 se muestran los resultados de la desviación estándar para cada intervalo de tiempo descrito anteriormente.

**Tabla 27. Desviación estándar a los 7 días**

DESVIACIÓN ESTANDAR A LOS 7 DÍAS				
AGREGADO	ESFUERZO DE CADA CILINDRO (Kgf/cm2)	ESFUERZO PROMEDIO (Kgf/cm2)	$\bar{X}$ (MEDIA ARITMÉTICA) $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	S (DESVIACIÓN ESTANDAR) $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$
AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN	68,368	73,024	45,720	27,745
	69,435			
	81,270			
MINAS Y CANTERAS	55,427	53,232		
	50,990			
	53,279			
CARACAS - SAN JAVIER	12,346	10,902		
	10,391			
	9,970			

Fuente: (Autores)

**Tabla 28. Desviación estándar a los 14 días**

DESVIACIÓN ESTANDAR A LOS 14 DÍAS				
AGREGADO	ESFUERZO DE CADA CILINDRO (Kgf/cm2)	ESFUERZO PROMEDIO (Kgf/cm2)	$\bar{X}$ (MEDIA ARITMÉTICA) $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	S (DESVIACIÓN ESTANDAR) $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$
AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN	97,707	97,552	58,590	35,991
	94,355			
	100,595			
MINAS Y CANTERAS	67,327	63,125		
	64,546			
	57,503			
CARACAS - SAN JAVIER	15,209	15,093		
	15,326			
	14,744			

Fuente: (Autores)

**Tabla 29. Desviación estándar a los 28 días**

DESVIACIÓN ESTÁNDAR A LOS 28 DÍAS				
AGREGADO	ESFUERZO DE CADA CILINDRO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	$\bar{X}$ (MEDIA ARITMÉTICA) $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	S (DESVIACIÓN ESTÁNDAR) $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$
AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN	120,290	134,244	88,590	46,029
	143,675			
	138,767			
MINAS Y CANTERAS	94,265	100,326		
	105,690			
	101,024			
CARACAS - SAN JAVIER	28,226	31,200		
	29,595			
	35,780			

Fuente: (Autores)

Luego de haber realizado los cálculos de la desviación estándar para los tiempos estipulados, se puede concluir que, la desviación estándar a los 28 días es de 46,029 Kgf/cm<sup>2</sup>. Este resultado se encuentra próximo al valor de 45 Kgf/cm<sup>2</sup>, siendo este el mínimo para determinar la resistencia promedio requerida a la compresión cuando la resistencia específica es menor a 210 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Calculando el Fcr cuando se conoce la desviación estándar se puede decir que este valor de 197,7 Kgf/cm<sup>2</sup> es similar al utilizado para el diseño, el cual tuvo un valor de 205 Kgf/cm<sup>2</sup>, lo cual indica que el valor hallado en la desviación estándar de los cilindros es un valor similar al empleado en el diseño. El cálculo de Fcr cuando se conoce la desviación estándar se determinó de la siguiente manera:

$$Fcr = Fc + 2.34\sigma - 35\text{Kgf/cm}^2$$

$$Fcr = 125 \text{ Kgf/cm}^2 + 2.34 (46,029) - 35\text{Kgf/cm}^2$$

$$Fcr = 197,7 \text{ Kgf/cm}^2$$

### 3.7. ELABORACIÓN LÁMINAS

El dimensionamiento de las láminas y los materiales empleados en la fabricación de estas, fueron los planteados en la metodología en el ítem 2.7.

La elaboración de las láminas se llevó mediante el uso de la arena de la empresa Agregados y Construcción, siendo esta la que alcanzo la resistencia a la compresión del diseño de mezcla planteado.

### 3.7.1. Mezcla matriz con polímeros

La dosificación para las láminas se llevó mediante lo planteado en el ítem 2.7.1 de la metodología, donde se desarrolló el diseño por volumen de cada lámina, teniendo en cuenta el espacio que ocupo cada material en esta. Lo anterior, se puede observar en la tabla 30, además, se determinó el diseño de mezcla por peso de cada material para las placas que tenían fibras de polipropileno refinado obtenido en el comercio (ver tabla 31); para las placas que tenían fibras de polipropileno reciclado se determinó el diseño de mezcla por peso de cada material (ver tabla 32).

**Tabla 30. Diseño por volumen (matriz base + polímeros)**

DISEÑO POR VOLUMEN (MATRIZ BASE + POLÍMEROS)								
ESPESOR LÁMINA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	VOLUMEN LÁMINA (cm3)	% EPS	VOLUMEN EPS (cm3)	VOLUMEN MEZCLA MATRIZ (cm3)	% FIBRAS	VOLUMEN FIBRAS (cm3)
1	30	60	1800	60	1080	720	5	36
				50	900	900		45
				40	720	1080		54
1,3	30	60	2340	60	1404	936	5	46,8
				50	1170	1170		58,5
				40	936	1404		70,2
2	30	60	3600	60	2160	1440	5	72
				50	1800	1800		90
				40	1440	2160		108
2,5	30	60	4500	60	2700	1800	5	90
				50	2250	2250		112,5
				40	1800	2700		135

Fuente: (Autores)

**Tabla 31. Diseño por peso (matriz base con polímeros – fibras refinadas)**

DISEÑO POR PESO (MATRIZ BASE + POLÍMEROS)										
ESPESOR LÁMINA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	VOLUMEN LÁMINA (cm3)	% EPS	PESO EPS (gr)	PESO CEMENTO (Kg)	AGUA (L)	PESO ARENA (Kg)	% FIBRAS	PESO FIBRAS (gr)
1	30	60	1800	60	27	0,324	0,2016	1,0980576	5	45,72
				50	22,5	0,405	0,252	1,372572		57,15
				40	18	0,486	0,3024	1,6470864		68,58
1,3	30	60	2340	60	35,1	0,4212	0,26208	1,42747488	5	59,436
				50	29,25	0,5265	0,3276	1,7843436		74,295
				40	23,4	0,6318	0,39312	2,14121232		89,154
2	30	60	3600	60	54	0,648	0,4032	2,1961152	5	91,44
				50	45	0,81	0,504	2,745144		114,3
				40	36	0,972	0,6048	3,2941728		137,16
2,5	30	60	4500	60	67,5	0,81	0,504	2,745144	5	114,3
				50	56,25	1,0125	0,63	3,43143		142,875
				40	45	1,215	0,756	4,117716		171,45

Fuente: (Autores)

**Tabla 32. Diseño por peso (matriz base con polímeros – fibras recicladas)**

DISEÑO POR PESO (MATRIZ BASE + POLÍMEROS)										
ESPEJOR LÁMINA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	VOLUMEN LÁMINA (cm <sup>3</sup> )	% EPS	PESO EPS (gr)	PESO CEMENTO (Kg)	AGUA (L)	PESO ARENA (Kg)	% FIBRAS	PESO FIBRAS (gr)
1	30	60	1800	60	27	0,324	0,2016	1,0980576	5	33,12
				50	22,5	0,405	0,252	1,372572		41,4
				40	18	0,486	0,3024	1,6470864		49,68
1,3	30	60	2340	60	35,1	0,4212	0,26208	1,42747488	5	43,056
				50	29,25	0,5265	0,3276	1,7843436		53,82
				40	23,4	0,6318	0,39312	2,14121232		64,584
2	30	60	3600	60	54	0,648	0,4032	2,1961152	5	66,24
				50	45	0,81	0,504	2,745144		82,8
				40	36	0,972	0,6048	3,2941728		99,36
2,5	30	60	4500	60	67,5	0,81	0,504	2,745144	5	82,8
				50	56,25	1,0125	0,63	3,43143		103,5
				40	45	1,215	0,756	4,117716		124,2

Fuente: (Autores)

El diseño por volumen para las láminas fabricadas para los dos tipos de fibras utilizadas se mantuvo, debido a que, las características de diseño fueron las mismas (% EPS, %fibras); en el diseño por peso para las láminas fabricadas para los dos tipos de fibras empleadas cambio solo en el peso de las fibras, puesto que, este estaba relacionado directamente con la densidad, y al usar dos tipos de fibras diferentes como lo son las fibras refinadas y las fibras recicladas, este iba a cambiar. La densidad para las fibras refinadas obtenidas en el comercio tomo un valor de 1.27 gr/cm<sup>3</sup>, y la densidad para las fibras recicladas tuvo un valor de 0.92 gr/cm<sup>3</sup>.

El diseño que se muestra a continuación fue el diseño elaborado para las muestras patrón mediante las cuales se realizó una comparación de las características entre las láminas que cuentan con polímeros en su mezcla y las láminas patrón, las cuales están conformadas de solo cemento, agua y arena. (Ver tablas 33 y 34)

**Tabla 33. Diseño por volumen (muestra patrón)**

DISEÑO POR VOLUMEN (MUESTRA PATRÓN)				
ESPEJOR LÁMINA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	VOLUMEN LÁMINA (cm <sup>3</sup> )	VOLUMEN MATRIZ BASE (cm <sup>3</sup> )
1	30	60	1800	1800
1,3	30	60	2340	2340
2	30	60	3600	3600
2,5	30	60	4500	4500

Fuente: (Autores)

**Tabla 34. Diseño por peso (muestra patrón)**

DISEÑO POR PESO (MUESTRA PATRÓN)						
ESPEJOR LÁMINA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	VOLUMEN LÁMINA (cm <sup>3</sup> )	PESO CEMENTO (Kg)	AGUA (L)	PESO ARENA (Kg)
1	30	60	1800	0,81	0,504	2,745144
1,3	30	60	2340	1,053	0,6552	3,5686872
2	30	60	3600	1,62	1,008	5,490288
2,5	30	60	4500	2,025	1,26	6,86286

Fuente: (Autores)

### 3.7.2. Construcción láminas y curado

A continuación, se muestra por medio de imágenes, los resultados que se obtuvieron en cada paso establecido en la metodología en el ítem 2.7.2. para la obtención de las formaletas, la fundición y el desencofrado y curado de las láminas diseñadas. Para ver el proceso completo de la elaboración y el curado de las láminas (ver anexo 8).

1. Elaboración de formaletas.

**Figura 45. Diseño de formaletas implementada en las láminas**





Fuente: (Autores)  
2. Fundición.

**Figura 46. Proceso de fundición de la lámina en formaleta**



Fuente: (Autores)

3. Desencofrado y curado.

**Figura 47. Proceso de desencofrado de las láminas diseñadas**



Fuente: (Autores)

**Figura 48. Identificación y curado de muestras**



Fuente: (Autores)

### 3.8. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LAS LÁMINAS

#### 3.8.1. Caracterización física de las láminas

Inicialmente se procedió a realizar una caracterización física de las láminas de estudio (muestras patrón, láminas con fibras refinadas, láminas con fibras recicladas), donde se refleja para los diferentes espesores planteados, valores como el peso, el espesor, largo y el ancho promedio de estas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para lo anterior.

**Tabla 35. Caracterización láminas muestra patrón**

DIMENSIONES DE LÁMINAS MUESTRA PATRÓN				
ESPESOR (mm)	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	LARGO PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	10,624	26,210	605,333	301,667
20	8,778	21,617	605,333	303,667
13	5,737	13,680	601,333	303,333
10	5,207	11,247	601,000	301,333

Fuente: (Autores)

**Tabla 36. Caracterización láminas con fibras refinadas**

DIMENSIONES DE LÁMINAS CON FIBRAS REFINADAS						
ESPESOR (mm)	% EPS	% FIBRAS	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	LARGO PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	40	5	8,699	26,450	600,000	300,000
	50	5	7,064	24,713	602,667	300,333
	60	5	5,765	24,927	601,333	301,667
20	40	5	6,564	19,957	599,000	211,067
	50	5	5,626	20,523	603,000	303,000
	60	5	4,78	20,833	600,000	301,000
13	40	5	4,457	14,567	600,667	302,667
	50	5	3,764	13,990	600,000	301,333
	60	5	3,067	14,167	600,333	301,333
10	40	5	3,311	10,693	601,000	300,000
	50	5	3,027	10,400	599,667	299,667
	60	5	2,663	10,023	600,667	299,333

Fuente: (Autores)

**Tabla 37. Caracterización láminas fibras recicladas**

DIMENSIONES DE LÁMINAS CON FIBRAS RECICLADAS						
ESPESOR (mm)	% EPS	% FIBRAS	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	LARGO PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	40	5	8,000	25,773	601,000	301,000
	50	5	7,380	25,810	599,667	303,333
	60	5	6,080	25,517	600,333	302,000
20	40	5	6,260	21,237	601,000	301,667
	50	5	5,830	21,517	602,000	302,667
	60	5	4,940	21,223	599,000	303,000
13	40	5	4,587	14,067	602,000	302,000
	50	5	3,967	14,300	600,667	301,333
	60	5	3,105	14,003	600,667	302,333
10	40	5	3,638	12,633	603,000	300,667
	50	5	3,092	11,683	601,333	300,667
	60	5	2,232	12,597	602,000	300,000

Fuente: (Autores)

Luego de haber realizado la respectiva caracterización para cada tipo de lámina planteada, se pudo analizar que la muestra patrón contó con un mayor peso en comparación a las otras, debido a que, esta lámina está elaborada solamente con la matriz base (arena, cemento, agua). Por otro lado, la disminución del peso (densidad) de la lámina es prácticamente proporcional al porcentaje de EPS contenido en el diseño de cada lámina.

Asimismo, se pudo concluir que la disminución del peso en las láminas con polímeros se debe a que, la implementación del EPS en el diseño de mezcla de cada muestra genera los vacíos de aire, lo cual ocasiona que el peso se reduzca en comparación al peso de la muestra patrón.

El proceso para la caracterización antes mencionada se hizo de la siguiente manera:

**Figura 49. Caracterización de las láminas**

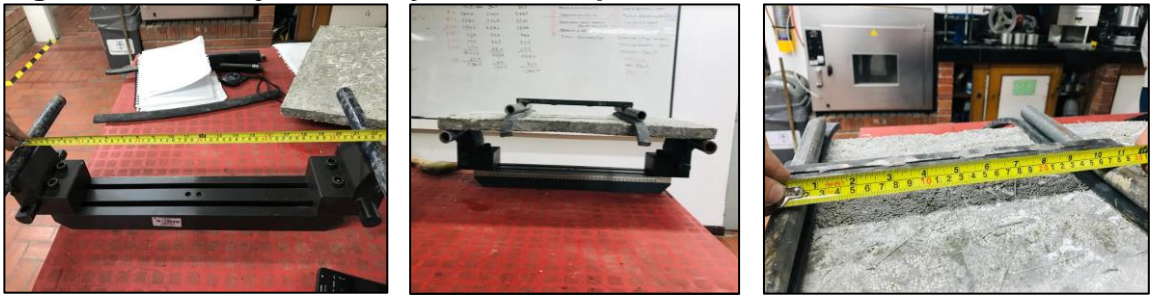


Fuente: (Autores)

### 3.8.2. Ensayo a flexión

Los resultados obtenidos para el ensayo de flexión (esfuerzo máximo) se pueden observar en las tablas 38, 39 Y 40, asimismo, se puede observar el montaje llevado a cabo para este ensayo en la figura 46.

**Figura 50. Montaje de ensayo a flexión para láminas**



Fuente: (Autores)

Para el montaje del ensayo anterior se tuvo en cuenta una luz entre apoyos de 56 cm, debido a que la lámina conto con una medida a lo largo de 60 cm permitiendo así una tolerancia de 2 cm en cada uno de sus apoyos, también, se tuvo en cuenta una distancia de 28 cm entre cargas cumpliendo con la norma estipulada en la metodología.

**Tabla 38. Esfuerzo máximo en láminas con fibras recicladas**

FIBRAS RECICLADAS						
ESPELOR - % EPS	CARGA (kgf)	DEFORMACIÓN (in)	ESPELOR PROMEDIO h (cm)	ANCHO PROMEDIO w (cm)	PESO (Kg)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
25 mm - 60%	34,670	0,096	2,552	30,200	6,080	13,753
25 mm - 50%	49,965	0,107	2,581	30,333	7,380	19,287
25 mm - 40%	68,320	0,121	2,577	30,100	8,000	26,652
20 mm - 60%	12,236	0,029	2,124	30,300	4,940	6,984
20 mm - 50%	22,433	0,042	2,152	30,267	5,830	12,487
20 mm - 40%	44,867	0,120	2,124	30,167	6,260	25,723
13 mm - 60%	6,118	0,017	1,400	30,233	3,105	8,050
13 mm - 50%	10,197	0,029	1,430	30,133	3,967	12,908
13 mm - 40%	16,315	0,045	1,407	30,200	4,587	21,296
10 mm - 60%	3,059	0,010	1,260	30,000	2,232	5,013
10 mm - 50%	7,138	0,012	1,168	30,067	3,092	13,566
10 mm - 40%	13,256	0,044	1,263	30,067	3,638	21,547

Fuente: (Autores)

**Tabla 39. Esfuerzo máximo en láminas con fibras refinadas**

FIBRAS REFINADAS						
ESPESOR - % EPS	CARGA (kgf)	DEFORMACIÓN (in)	ESPESOR PROMEDIO h (mm)	ANCHO PROMEDIO w (mm)	PESO (Kg)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
25 mm - 60%	55,064	0,110	2,493	30,167	5,765	22,914
25 mm - 50%	113,187	0,175	2,471	30,033	7,064	48,131
25 mm - 40%	198,842	0,240	2,645	30,000	8,69	73,897
20 mm - 60%	22,433	0,052	2,083	30,100	4,78	13,394
20 mm - 50%	49,965	0,099	2,052	30,300	5,626	30,537
20 mm - 40%	88,714	0,002	1,996	21,107	6,564	82,317
13 mm - 60%	9,177	0,025	1,417	30,133	3,067	11,837
13 mm - 50%	17,335	0,048	1,399	30,133	3,764	22,926
13 mm - 40%	30,591	0,061	1,457	30,267	4,457	37,154
10 mm - 60%	5,099	0,013	1,002	29,933	2,663	13,224
10 mm - 50%	13,256	0,021	1,040	29,967	3,027	31,901
10 mm - 40%	16,315	0,034	1,069	30,000	3,311	37,097

Fuente: (Autores)

**Tabla 40. Esfuerzo máximo en láminas patrón**

ESPESOR	CARGA (kgf)	DEFORMACIÓN (in)	ESPESOR PROMEDIO h (cm)	ANCHO PROMEDIO w (cm)	PESO (Kg)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
Maciza 25 mm	177,428	0,208	2,621	30,167	10,624	66,781
Maciza 20 mm	125,430	0,175	2,162	30,367	8,778	68,948
Maciza 13 mm	55,064	0,123	1,368	30,333	5,737	75,660
Maciza 10 mm	45,887	0,091	1,125	30,133	5,207	93,904

Fuente: (Autores)

De los anterior se puede analizar que, la lámina patrón que obtuvo mayor resistencia en términos de carga fue la lámina maciza de espesor 25 mm con un valor de 177,428 Kgf, pero si realizamos el mismo análisis, en términos de esfuerzo, se puede concluir que la lámina que más resiste esfuerzo a la flexión es la lámina maciza de 10 mm con una magnitud de 93,904 Kgf/cm<sup>2</sup>, esto debido a que, el esfuerzo está directamente relacionado al espesor, es decir, a menor espesor, mayor será el esfuerzo que soporte la lámina. Asimismo, se realizó la comparación entre las láminas patrón de cada espesor y las láminas con polímeros, en la cual, la lámina con espesor de 25 mm y 40% de EPS con fibras refinadas fue la que obtuvo la mayor carga de todas, teniendo esta un valor de 198,892 Kgf.

Además, del análisis anterior, se puede adicionar que el esfuerzo de la lámina de 25 mm con 40 % de poliestireno expandido (EPS) y fibras refinadas obtuvo un esfuerzo de 73,897 Kgf/cm<sup>2</sup>, siendo este, mayor a el esfuerzo obtenido para la lámina patrón de espesor de 25 mm con un valor de 66,781 Kgf/cm<sup>2</sup>, también, se

realizó esta comparación para la lámina de 20 mm con un porcentaje de EPS del 40% y fibras refinadas la cual tuvo un valor en términos de esfuerzo de 82,317 Kgf/cm<sup>2</sup>, siendo este un valor mayor al esfuerzo de la lámina patrón para 20 mm de espesor con un valor de 68,948 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Con respecto a los espesores de 13 y 10 mm con porcentajes del 40% de EPS, los esfuerzos adquiridos fueron menores a los valores de esfuerzo alcanzados por la lámina patrón de los espesores correspondientes (13, 10 mm).

### **3.8.3. Relación (carga/peso)**

Los valores máximos obtenidos de la relación carga/peso en términos de eficiencia para la lámina de 25 mm de espesor con fibras refinadas fue de 22,882 y de 8,540 con fibras recicladas; para la lámina de 20 mm de espesor con fibras refinadas se obtuvo un valor de 13,515 y de 7,167 con fibras recicladas. Asimismo, la lámina con un espesor de 13 mm obtuvo unos valores de relación de 6,864 para el caso de fibras refinadas y de 3,557 para el caso de fibras recicladas, por último, estos valores de relación que obtuvo la lámina con espesor de 10 mm para fibras refinadas fue de 4,928 y para fibras recicladas fue de 3,644. Los valores antes mencionados hacen referencia solamente al 40% de EPS, puesto que este porcentaje es el genera los máximos valores de la presente relación.

Para poder observar los demás valores de relación carga/peso para las diferentes proporciones de poliestireno expandido (EPS) empleados en la investigación, dirigirse a la tabla 41.

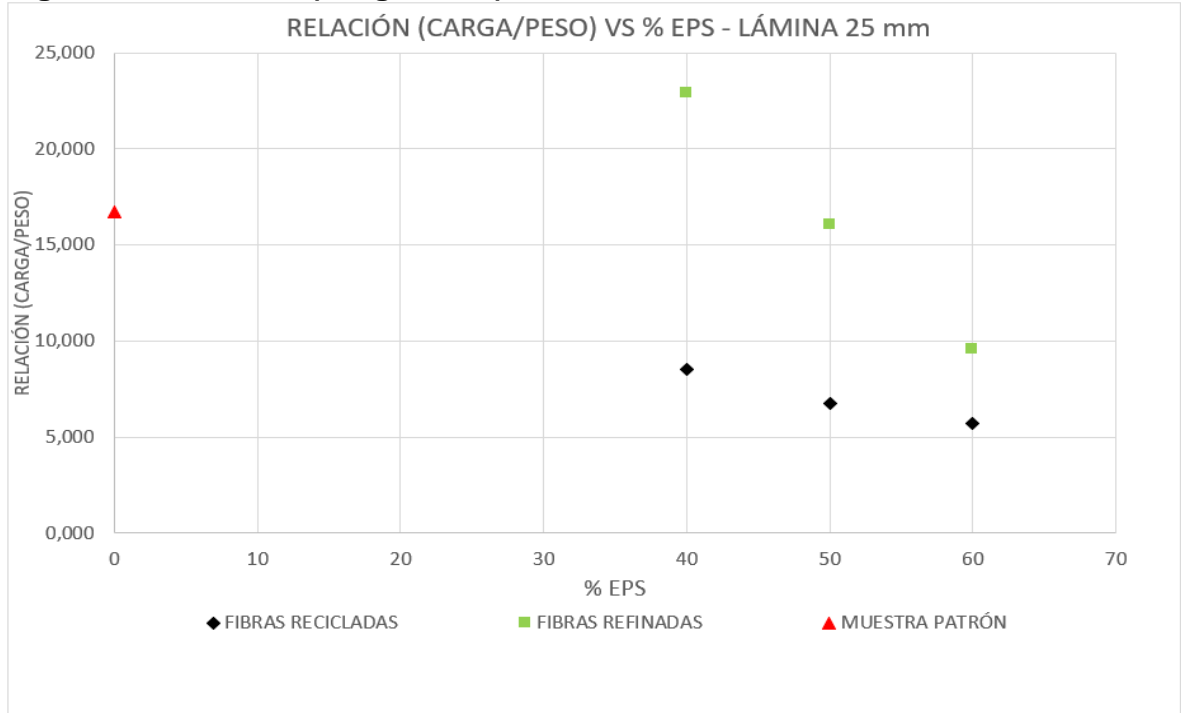
**Tabla 41. Determinación de la eficiencia a partir de la relación (Carga/Peso)**

FIBRAS RECICLADAS	ESPESOR - % EPS	CARGA (kgf)	PESO (Kg)	RELACIÓN (CARGA/PESO)
	25 mm - 60%	34,670	6,080	5,702
25 mm - 50%	49,965	7,380	6,770	
25 mm - 40%	68,320	8,000	8,540	
20 mm - 60%	12,236	4,940	2,477	
20 mm - 50%	22,433	5,830	3,848	
20 mm - 40%	44,867	6,260	7,167	
13 mm - 60%	6,118	3,105	1,970	
13 mm - 50%	10,197	3,967	2,570	
13 mm - 40%	16,315	4,587	3,557	
10 mm - 60%	3,059	2,232	1,371	
10 mm - 50%	7,138	3,092	2,309	
10 mm - 40%	13,256	3,638	3,644	
FIBRAS REFINADAS	25 mm - 60%	55,064	5,765	9,551
	25 mm - 50%	113,187	7,064	16,023
	25 mm - 40%	198,842	8,69	22,882
	20 mm - 60%	22,433	4,78	4,693
	20 mm - 50%	49,965	5,626	8,881
	20 mm - 40%	88,714	6,564	13,515
	13 mm - 60%	9,177	3,067	2,992
	13 mm - 50%	17,335	3,764	4,605
	13 mm - 40%	30,591	4,457	6,864
	10 mm - 60%	5,099	2,663	1,915
	10 mm - 50%	13,256	3,027	4,379
	10 mm - 40%	16,315	3,311	4,928
MUESTRA PATRÓN	Maciza 25 mm	177,428	10,624	16,701
	Maciza 20 mm	125,430	8,778	14,289
	Maciza 13 mm	55,064	5,737	9,598
	Maciza 10 mm	45,887	5,207	8,812

Fuente: (Autores)

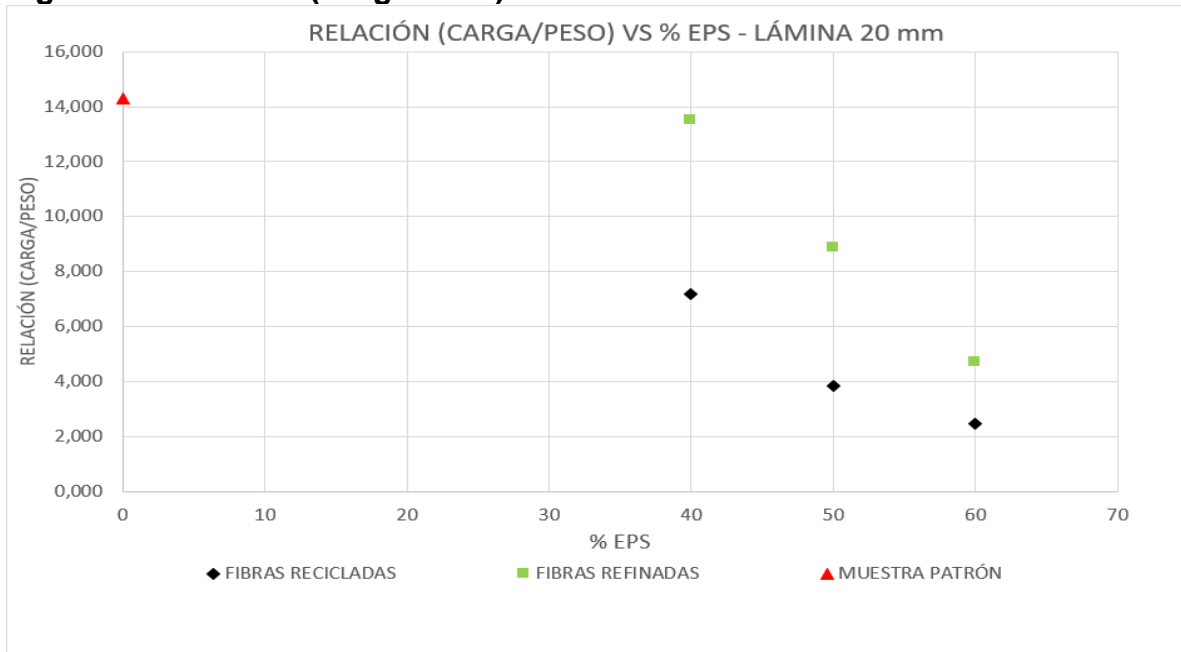
Para observar el comportamiento de eficiencia y la comparación en términos de la relación carga/peso para cada lámina haciendo referencia al tipo de fibras empleadas en cada espesor planteado y el porcentaje de EPS empleado, ver las figuras 51, 52, 53 y 54.

**Figura 51. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 25 mm**



Fuente: (Autores)

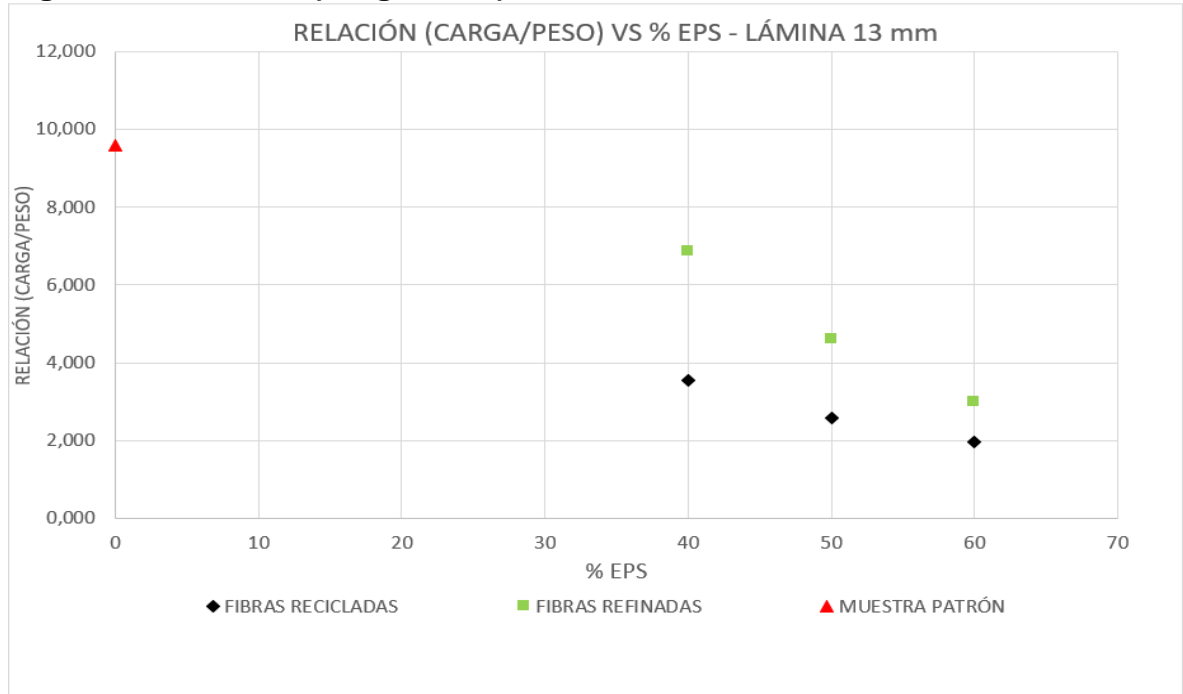
**Figura 52. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 20 mm**



Fuente: (Autores)

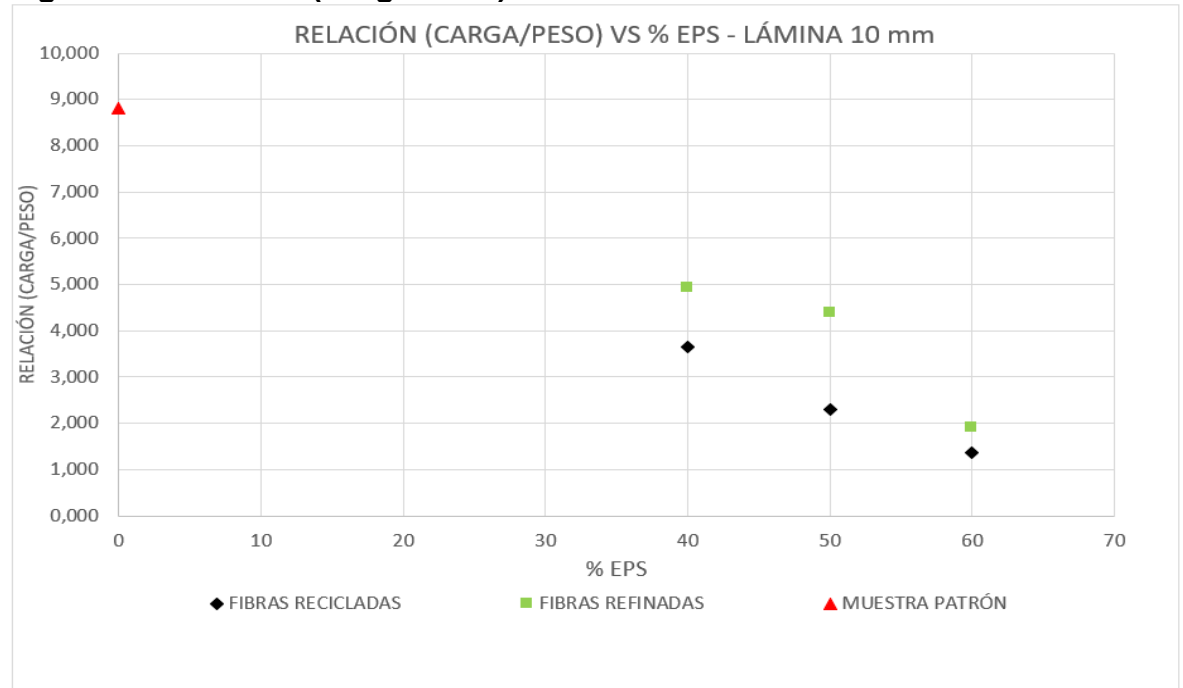


**Figura 53. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 13 mm**



Fuente: (Autores)

**Figura 54. Relación (Carga/Peso) vs %EPS – Láminas 10 mm**



Fuente: (Autores)

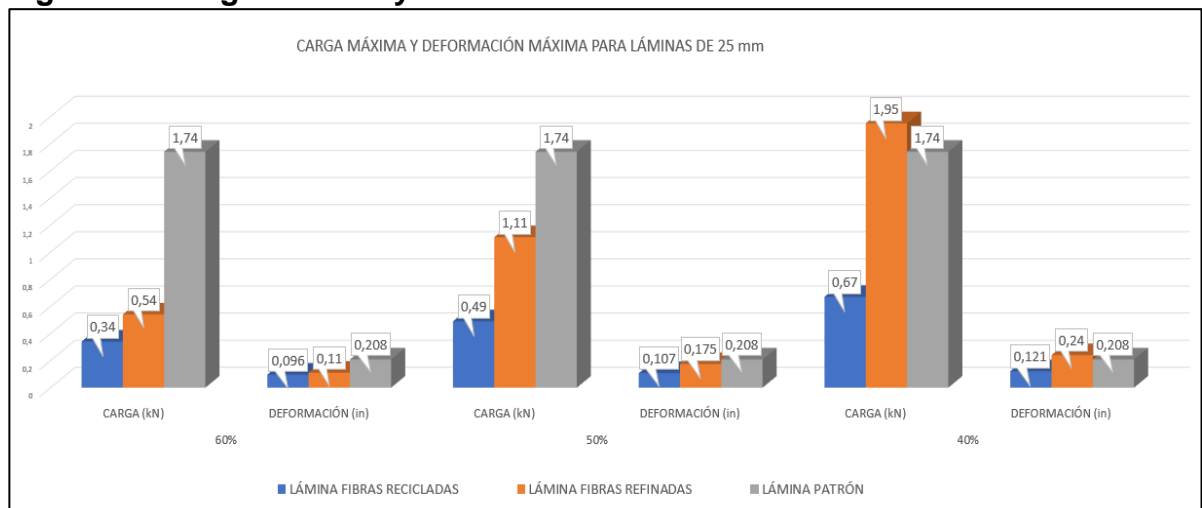
De las anteriores figuras, se puede concluir que el porcentaje que presento una mayor eficiencia en términos de relación Carga/Peso fue el 40% de poliestireno expandido (EPS). También, se pudo analizar que las láminas que en su mezcla se incluyeron fibras de polipropileno refinadas alcanzaron una eficiencia superior en comparación de las láminas que contenían fibras de polipropileno recicladas.

Además, se considera por los resultados obtenidos que la dosificación que presento un mejor comportamiento en las láminas para todos los espesores fue la del 40% de poliestireno expandido (EPS) y 5% de fibras de polipropileno refinadas. Hay que mencionar, además que, cuando se hace uso de la dosificación mencionada anteriormente para el espesor de 25 mm, la lámina es más eficaz en comparación a la muestra patrón (cemento, agua, arena).

### 3.9. REPORTE DE RESULTADOS DE CARGA Y DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LAS LÁMINAS

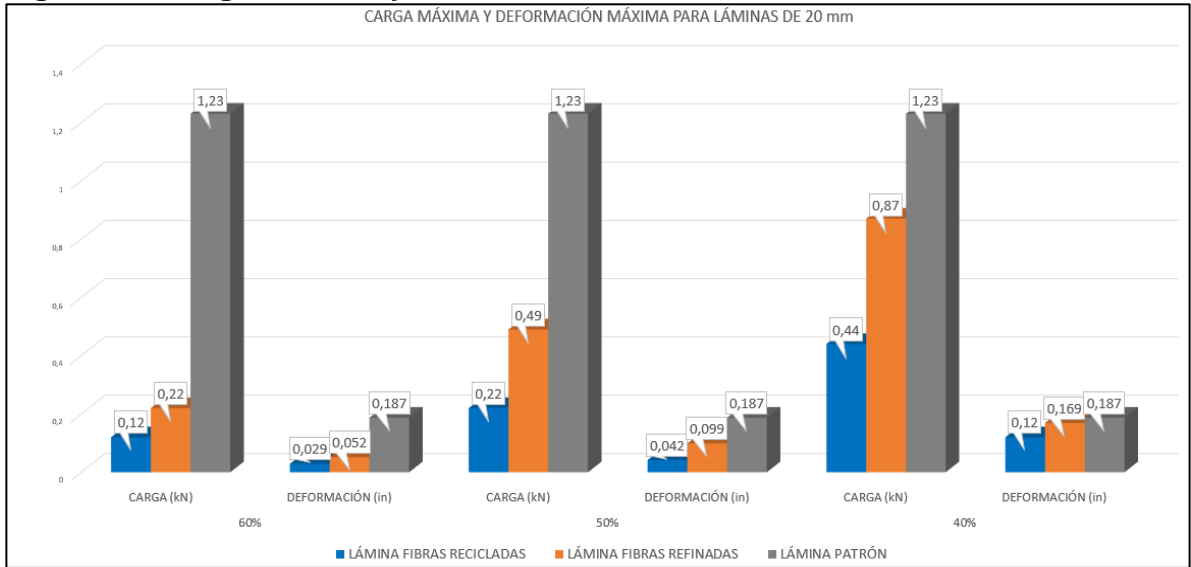
En la figura 55, 56, 57 y 58, se ilustran las gráficas obtenidas para la carga y deformación máxima por espesor de lámina. Para poder observar el comportamiento en términos de carga y deformación de cada lámina dirigirse al capítulo de anexos. (Ver anexo 10)

**Figura 55. Carga máxima y deformación – láminas de 25 mm**



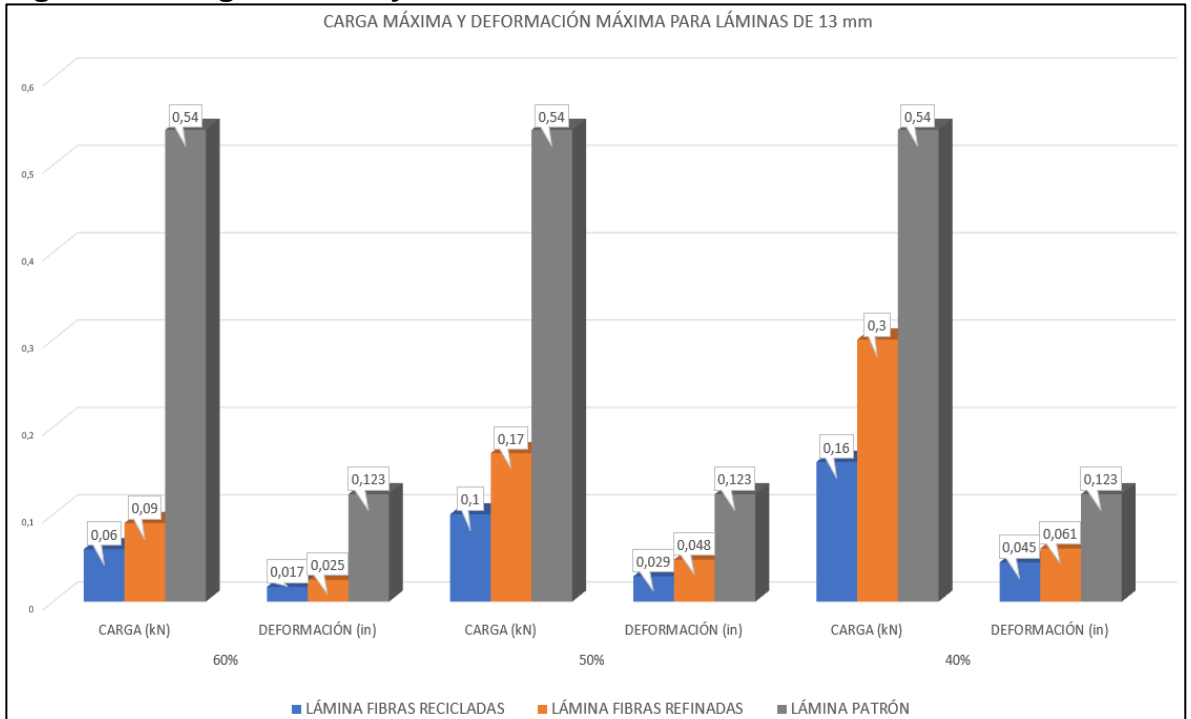
Fuente: (Autores)

**Figura 56. Carga máxima y deformación – láminas de 20 mm**



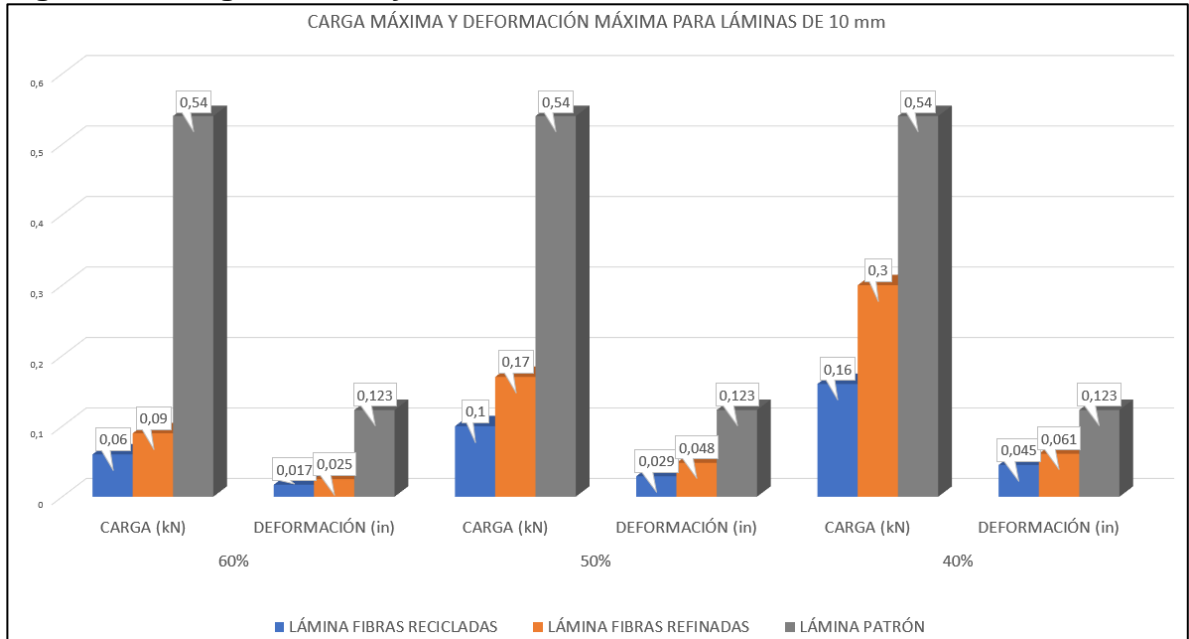
Fuente: (Autores)

**Figura 57. Carga máxima y deformación – láminas de 13 mm**



Fuente: (Autores)

**Figura 58. Carga máxima y deformación – láminas de 10 mm**



Fuente: (Autores)

Luego, de un análisis comparativo entre las gráficas presentadas anteriormente, se pudo concluir que:

- La lámina de 25 mm con un porcentaje del 40% de EPS y la implementación de fibras refinadas fue la que obtuvo el mayor valor en términos de carga y deformación, indicando que la implementación de polímeros con esta proporción en la mezcla base proporciona una mayor resistencia en comparación de las demás láminas.
- La incorporación de las fibras refinadas en la mezcla base para las láminas, brindó un mejor comportamiento en resistencia comparativamente con la implementación de fibras recicladas en la mezcla base, causando que las láminas que incluyeran fibras refinadas en su mezcla aumentaran su resistencia significativamente.
- A menor porcentaje de poliestireno expandido empleado en la mezcla, se obtuvo una mayor deformación y resistencia de carga para el elemento, ya que se disminuyen los vacíos en la mezcla, causando que todos los componentes se conglomeren de una forma más homogénea.
- Al disminuir el espesor de la lámina, la implementación de los polímeros no es tan significativo en términos de resistencia y deformación debido a que, las láminas patrón (cemento, agua, arena) son las que tienen mayores resultados de deformación y carga.

- Al disminuir el porcentaje de EPS en las láminas para un intervalo entre el 60% y el 50% se pudo notar que la carga resistida por la lámina aumenta aproximadamente el doble, asimismo, cuando se disminuye el porcentaje de poliestireno expandido entre un 60% y un 40% se aumenta la resistencia de la lámina el triple.

### Falla presentada para láminas con fibras recicladas

La falla que se presentó en las láminas con fibras recicladas se puede ver en la siguiente figura. (Ver figura 59)

**Figura 59. Falla presentada en las láminas de fibras recicladas**



Fuente: (Autores)

### Falla presentada para láminas con fibras refinadas

La falla que se presentó en las láminas con fibras refinadas se puede observar en la siguiente figura. (Ver figura 60)

**Figura 60. Falla presentada en las láminas de fibras refinadas**

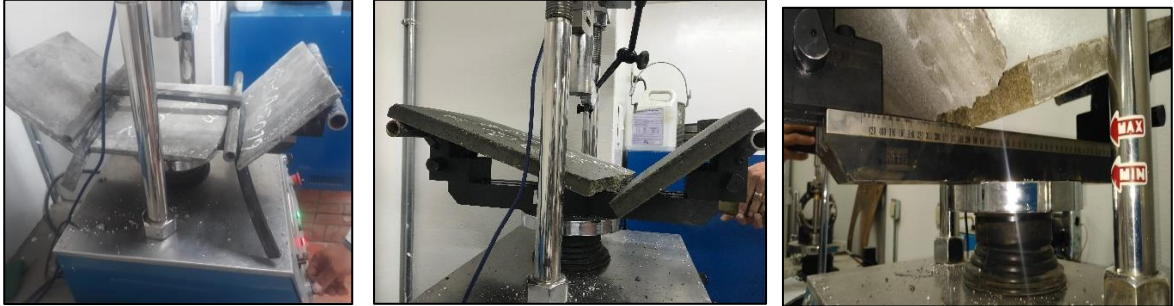


Fuente: (Autores)

### Falla presentada para láminas patrón

La falla que se presentó en las láminas con fibras refinadas se puede observar en la siguiente figura. (Ver figura 61)

**Figura 61. Falla presentada en las láminas patrón**



Fuente: (Autores)

De la figura 59 “Falla presentada en las láminas de fibras recicladas” y la figura 60 “Falla presentada en las láminas de fibras refinadas” se puede analizar, que la falla que se representa al momento de que las láminas están sometidas a flexión es una falla dúctil debido a que esta no se desintegra por completo.

De la figura 61 “Falla presentada para láminas patrón” se evidencio, que al momento en el que la lámina falla por flexión, esta se fractura por completo. Esta fractura se presenta en el centro de la lámina para algunos casos y para otros, en donde se aplican las cargas, lo cual genera una desintegración total del elemento (lámina).

## **ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN**

La investigación llevada a cabo en el presente trabajo escrito junto con todos los resultados obtenidos, así como la información en términos de conclusiones y recomendaciones contempladas en este, serán entregadas a la Universidad Católica de Colombia, para que así, esta pueda hacer la publicación del trabajo en el repositorio de esta misma, con el objeto de que las investigaciones futuras que se desglosen del presente trabajo de grado, tengan un punto de partida o una guía para su respectivo desarrollo, asimismo, para que el documento este albergado, sea preservado en la institución y pueda difundirse con todas las personas interesadas en la temática abarcada en este.

También, se plantea la posibilidad de que este trabajo pueda ser expuesto en los diferentes eventos realizados por la Universidad Católica de Colombia para el programa de ingeniería civil (CONIITI).

## CONCLUSIONES

Como resultado de la presente investigación, se concluye que es de suma importancia el diseñar y crear materiales alternos que ayuden en el progreso de los materiales convencionales empleados hoy en día en el campo de la construcción de obras civiles, permitiendo así, una mejora en funcionalidad, en costo beneficio y una disminución haciendo referencia al impacto ambiental que los materiales comunes suelen tener, es por esto que, en este trabajo se buscó la manera de reutilizar materiales que hoy en día generan un alto impacto ambiental como el poliestireno expandido y el polipropileno, aprovechándolos y empleándolos en una mezcla base con la finalidad de aligerar objetos aumentando su resistencia.

La mezcla base para la fabricación de las placas se desarrolló haciendo uso de diferentes agregados finos (arena de río) en los cuales se pudo notar que la resistencia de la matriz base (cemento, arena, agua) se ve afectada dependiendo la procedencia de esta debido a que cambian sus características físicas y químicas, por esta razón es que, al emplear una arena con un módulo de finura de 2.91 y una densidad de  $2685 \text{ Kg/m}^3$  se obtiene una resistencia a la compresión mayor en comparación con los otros tipos de arena estudiados, obteniendo así una resistencia mínima a la compresión de  $125 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días.

Por otro lado, al incluir fibras refinadas de polipropileno con la mezcla base se obtiene mayor resistencia en comparación con las fibras recicladas, esto se debe a que las fibras refinadas cuentan con una mayor rigidez que las recicladas, ya que estas poseen unas divisiones específicas que generan mayor adherencia en la mezcla base y son diseñadas para brindar resistencia a cargas en las mezclas de concreto en las cuales sean empleadas, caso contrario, en las recicladas que tienen una composición maleable puesto que estas se generan a partir de hilos de polipropileno obteniendo monofilamentos delgados.

Por otro parte, al incorporar el poliestireno expandido en la mezcla base y comparando las láminas diseñadas con las muestras patrón de concreto convencional para cada uno de los espesores ensayados planteados en la metodología de la investigación, se pudo constatar, como era de esperarse, una gran diferencia en peso en comparación con las láminas para cada espesor, concluyendo así que, la disminución del peso de las láminas elaboradas con EPS (utilizado en esta investigación únicamente para suministrarle la característica alveolar al concreto de las muestras) es prácticamente proporcional al porcentaje de este material contenido en el volumen total de cada lámina.



Analizando las diferentes dosificaciones planteadas en la metodología de la presente investigación, se evidenció que la mezcla que brindó mejores comportamientos en términos de resistencia fue la combinación de 40% de EPS y 5% de fibras refinadas de polipropileno, obteniendo una mayor deformación y resistencia de carga para el elemento comparativamente con las demás dosificaciones planteadas discriminando los diferentes espesores. De lo anterior se puede concluir que, los valores obtenidos en términos de carga y deformación para la lámina de 25 mm con la dosificación antes mencionada (40% de EPS y 5% de fibras refinadas) fue la que obtuvo los valores mayores en cuanto a deformación y resistencia se refiere; asimismo, esta proporción de polímeros generaron una mayor eficiencia en términos de relación carga peso.

Al mismo tiempo, se observa comparativamente entre los diferentes espesores que al disminuir el porcentaje de poliestireno expandido de un 60% a un 50%, la carga resistida por el elemento aumenta el doble del valor para un 60%; asimismo, para el caso en el que el EPS se disminuye de un 60% a un 40%, el valor de resistencia aumenta significativamente a el triple del valor obtenido por el 60%, deduciendo así que, existe una relación lineal entre la disminución del porcentaje de EPS y la resistencia en el elemento.

Finalmente, se concluye que, al disminuir el espesor de la lámina, la implementación de los polímeros no es tan significativo en términos de resistencia y deformación debido a que, las láminas patrón (cemento, agua, arena) son las que tienen mayores resultados de deformación y carga para los espesores de 20 mm, 13 mm y 10 mm, caso contrario para el espesor de 25 mm, donde los valores de resistencia y deformación superan significativamente a los valores alcanzados por la muestra patrón, también se puede agregar que, en términos de esfuerzo a la flexión la lámina de 25 mm con 40 % de poliestireno expandido (EPS) y fibras refinadas obtuvo un valor de 73,8 Kgf/cm<sup>2</sup>, siendo este, mayor al esfuerzo obtenido para la lámina patrón de espesor de 25 mm con un valor de 66,7 Kgf/cm<sup>2</sup>, también se puede agregar que, se realizó esta comparación para la lámina de 20 mm con un porcentaje de EPS del 40% y fibras refinadas la cual tuvo un valor en términos de esfuerzo de 82,3 Kgf/cm<sup>2</sup>, siendo este un valor mayor al esfuerzo de la lámina patrón para 20 mm de espesor con un valor de 68,9 Kgf/cm<sup>2</sup>.

De lo anterior se concluye que, para los espesores entre 20 mm y 25 mm la incorporación de polímeros es viable debido a que representa una mejora en su capacidad portante en comparación a la muestra patrón, ya que sus características físicas (peso) y mecánicas (esfuerzo de flexión) presentaron una mejoría,

generando en el elemento una posibilidad de ser empleado en acabados arquitectónicos como lo son paneles de techo, topes de cocinas, divisiones para clósets, mesones, estanterías, revestimiento de interiores.

Habría que decir también, que al momento de analizar las láminas con fibras tanto refinadas como recicladas cuando se someten a esfuerzos, estas presentan una falla dúctil debido a que el elemento no se desintegra por completo, en cambio, la falla que presentan las láminas muestra patrón al estar sometidas a esfuerzo de flexión se presenta en el centro de la lámina para algunos casos y para otros, en donde se aplican las cargas, lo cual genera una desintegración total del elemento (lámina), manifestando, que el uso de las fibras en elementos constructivos (láminas) es recomendable, ya que permiten que el objeto al estar sometido a flexión no se fragmente ni desintegre, y el uso del poliestireno expandido crea vacíos en la mezcla del elemento haciéndolo relativamente liviano en comparación con elementos conformados por mezclas base (cemento, agua, arena), por ende, se podría emplear estas láminas como elementos de cubierta, entre pisos, debido a el tipo de falla que presenta el elemento cuando está sometido a cargas.

## RECOMENDACIONES

En base a los datos obtenidos y el análisis realizado para la presente investigación se realizan sugerencias que permitan orientar a futuras investigaciones en temas relacionados con el diseño de láminas adicionando poliestireno expandido y fibras de polipropileno, por lo cual, en primera estancia se recomienda reemplazar tanto los porcentajes de EPS como los porcentajes de fibras de polipropileno por menores a los valores mínimos empleados (40% EPS, 5% fibras) con la finalidad de poder estudiar si al disminuir estos porcentajes la lámina tendrá un mejor comportamiento a la relación carga peso y resistencia. De igual forma, se recomienda elaborar especímenes con mayores espesores para analizar si la tendencia obtenida en la presente investigación se mantiene, es decir, a mayor espesor, mayor resistencia, debido a que cuando los espesores de las láminas son muy delgados la incorporación de polímeros no es viable.

Respecto a la muestra patrón, se sugiere realizar el diseño de mezcla base con la desviación estándar obtenida para poder verificar la resistencia específica; por otra parte, se propone cambiar la resistencia mínima a la compresión a los 28 días por una mayor a la que fue empleada ( $125 \text{ Kg/cm}^2$ ) con el objeto de poder aumentar los porcentajes de EPS empleados.

Además, se recomienda que, al momento de realizar la mezcla de cemento, agua, arena más polímeros hay que estar mezclando esta misma antes de fundirla en el encofrado, para garantizar que la totalidad de las perlas junto con las fibras, queden envueltas por el mortero y obtengan así, una distribución homogénea.

Otra parte que hay que recalcar sería que, los diámetros máximos de perlas de EPS a usar para placas menores de 25 mm de espesor deben estar en un rango entre 1 a 1,5 mm, para garantizar que los alvéolos de EPS queden totalmente envueltos en la matriz base de cemento-arena. Asimismo, se sugiere que la mezcla no sea vibrada dentro del encofrado, esto con el objeto de evitar la disgregación del EPS, es por esto que, la compactación de la mezcla dentro del encofrado debe hacerse manualmente.

Se debe agregar también que, al emplear las fibras de polipropileno en la mezcla, estas deben ser cortas, en el rango de longitudes recomendadas en esta investigación, del mismo modo, se debe evitar a toda costa la formación de ovillos de fibras de polipropileno y en caso de usarse el polipropileno reciclado, éste debe

estar libre de impurezas, disgregado totalmente en filamentos y en esta situación, antes de cortarlos, tratar al máximo, de eliminarles el teñido. En términos de costo beneficio, se recomienda emplear las fibras refinadas de polipropileno que se obtienen en el comercio, ya que los resultados que se obtuvieron por estas fibras presentaron, una mayor eficiencia en la elaboración de las láminas.

Las fibras de polipropileno deben agregársele a la mezcla de arena-cemento y EPS, antes de verter el agua de fraguado, desmenuzándolas totalmente y esparciéndolas uniformemente por toda la superficie a mezclar.

Para analizar a fondo la adherencia que presentan las partículas de polímeros con la matriz base (agua, arena, cemento) se propone hacer un ensayo de microscopía de barrido SEM.

Finalmente, se propone realizar una investigación donde se estudie el comportamiento que tendría la unión de dos láminas diseñadas en esta investigación, con la finalidad de crear paneles para ser empleados como módulos para la construcción de paredes de viviendas, con alturas de hasta 2,40 m y de peso ligero, sin la necesidad de usar equipos mecánicos para su manipulación.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABACOL. 2018.** ABACOL. *ABACOL*. [En línea] 23 de 05 de 2018. [Citado el: 23 de 09 de 2019.] <https://www.abacol.co/assets/ficha-tecnica-fibraplas.pdf>.

**ACI 318S-08, ACI.** American Concrete Institute. *American Concrete Institute*. [En línea] American Concrete Institute. [Citado el: 25 de 09 de 2019.] [https://www.academia.edu/19806312/ACI-318-08\\_Espa%C3%B1ol.518](https://www.academia.edu/19806312/ACI-318-08_Espa%C3%B1ol.518).

**Acosta, Luis. 2014.** Universidad Nueva Esparta. *Universidad Nueva Esparta*. [En línea] 15 de 08 de 2014. [file:///C:/Users/mccas/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/TG5136%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mccas/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/TG5136%20(1).pdf).

**Amin Noushini, Max Hastings, Arnaud Castel, Farhad Aslani. 2018.** ScienceDirect. *ScienceDirect*. [En línea] 20 de 10 de 2018. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0950061818317823>.

**ANCADE, ANTER, IECA. 2012.** *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid : Instituto español del cemento y sus aplicaciones (IECA), 2012. 978-84-89702-23-3.

**Andes, Universidad de los. 2018.** Universidad de los Andes. *Universidad de los Andes*. [En línea] 23 de 10 de 2018. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] <https://laboratoriointegrado.uniandes.edu.co/images/lab-civil/TarifasCivil2018publicado23deoctubre.pdf>.

**ARGOS. 2016.** 360 en concreto. [En línea] 06 de 10 de 2016. [Citado el: 10 de 09 de 2018.] <http://mniapscop01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/con-suelo-cemento-rionegro-recupera-kilometros-de-vias-rurales>.

**ARGOS. 2017.** ARGOS. [En línea] 11 de 2017. [Citado el: 12 de 09 de 2018.] <https://colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Innovacion/Suelo-cemento-construccion-vias-terciarias>.

**ARGOS. 2018.** ARGOS. *ARGOS*. [En línea] 06 de MARZO de 2018. [Citado el: 22 de 09 de 2019.] <https://colombia.argos.co/Portals/Colombia/Contenido/Conoce-nuestros-productos/Cemento/Uso-general/Cemento-Gris/Argos-FT-CementoGris-UsoGeneral.pdf>.

**ARGOS. 2018.** ARGOS. *ARGOS*. [En línea] 25 de 05 de 2018. [Citado el: 16 de 03 de 2019.] <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191qu233-es-el-concreto-fibroreforzado>.

**Arias, Fidas G. 2006.** *El Proyecto de Investigación*. [ed.] ISBN: 980-07-8529-9. Caracas : Episteme, 2006. Vol. 5.

**Bejarano, Edwin Medina. 2015.** udistrital. [En línea] 2015. [Citado el: 16 de 09 de 2018.] [http://udistrital.edu.co:8080/c/document\\_library/get\\_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625](http://udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625).

**Bejarano, Edwin Medina. 2013.** Universidad Francisco José de Caldas. *Universidad Francisco José de Caldas*. [En línea] 23 de 05 de 2013. [Citado el: 12 de 03 de 2019.] <http://udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf?version=1.0>.

**Bogotá, Alcaldía Mayor de. 2017.** *INFORME DE CALIDAD DE VIDA EN BOGOTÁ*. Bogotá : Puntoaparte , 2017.

**Búa, Manuel Torres. 2014.** XUNTA DE GALICIA. *XUNTA DE GALICIA*. [En línea] 30 de 04 de 2014. [Citado el: 17 de 03 de 2019.] [https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/41\\_traccin.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/41_traccin.html).

**Carreon, Herbert Aquino. 2010.** SCRIBD. *SCRIBD*. [En línea] 10 de 03 de 2010. [Citado el: 22 de 03 de 2019.] <https://es.scribd.com/document/361342905/Flexion-de-Placas-Planas>.

**Castillo, Mercedes. 2004.** Universidad Nacional de Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*. [En línea] 24 de 07 de 2004. [Citado el: 20 de 03 de 2019.] <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/18751/19646>.

**Cemex. 2018.** cemexcolombia. [En línea] 2018. [Citado el: 18 de 09 de 2018.] <https://www.cemexcolombia.com/productos/cementos/cemento-gris>.

*Comportamiento de suelos residuales de diorita estabilizados con cal y su evolución en el tiempo.*  
**MORENO, MARIO ALBERT, MONTOYA, CÉSAR AUGUSTO HIDALGO. 2005.** 06 de 2005, Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

**Concretos, La Silla. 2010.** La Silla Concretos. *La Silla Concretos*. [En línea] 11 de 05 de 2010. [Citado el: 17 de 03 de 2019.] <http://www.concretoslasilla.com/ConcCelular.html>.

**Construcción, Canal. 2015.** Canal Construcción. *Canal Construcción*. [En línea] Canal Construcción, 12 de 04 de 2015. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] <http://canalconstruccion.com/polipropileno-usos-y-caracteristicas.html>.

**Construdata. 2013.** Construdata. [En línea] 15 de 07 de 2013. [http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/el\\_concreto\\_y\\_su\\_papel\\_en\\_la\\_construccion\\_de\\_espacios.asp](http://www.construdata.com/Bc/Construccion/Noticias/el_concreto_y_su_papel_en_la_construccion_de_espacios.asp).

**Construdata. 2004.** Construdata. [En línea] 04 de 06 de 2004. <http://www.construdata.com/VitrinaComercial/Anuncian/8/86000980/Capitulos/05/05.htm>.

**CONSTRUMÁTICA. 2017.** CONSTRUMÁTICA. *CONSTRUMÁTICA*. [En línea] 26 de 07 de 2017. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <https://www.construmatica.com/construpedia/Durabilidad>.

**CONSTRUMÁTICA. 2017.** CONSTRUMÁTICA. *CONSTRUMÁTICA*. [En línea] CONSTRUMÁTICA, 19 de 06 de 2017. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] [https://www.construmatica.com/construpedia/Poliestireno\\_Expandido](https://www.construmatica.com/construpedia/Poliestireno_Expandido).

**Cossio, Fernando Vela. 1995.** Biblioteca Politécnica Universitaria. *Biblioteca Politécnica Universitaria*. [En línea] 19 de 12 de 1995. [http://oa.upm.es/23127/1/INVE\\_MEM\\_1995\\_121927.pdf](http://oa.upm.es/23127/1/INVE_MEM_1995_121927.pdf).

**Cotte, Hugo Alexander Rondón Quintana. Carlos Felipe Urazán Bonells.Édgar Humberto Sánchez. 2011.** *Predicción de resistencia bajo carga monotónica de una mezcla asfáltica sometida a condiciones ambientales de Bogotá.* Bogotá D.C, Universidad Francisco de Paula Santander. Bogotá D.C : revista épsilon, 2011. 1692-1259.

**DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES. 2004.** DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES. *DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES.* [En línea] 2004. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] [http://www.imac.unavarra.es/web\\_imac/pages/docencia/asignaturas/maquinas-iti/Apunteak/Cap1.pdf](http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/maquinas-iti/Apunteak/Cap1.pdf).

**Duque-Escobar, Gonzalo y Escobar Carlos-Enrique. 2016.** *Galeon.* 2016.

**ECOLOPOR. 2016.** ECOLOPOR S.A.S. *ECOLOPOR S.A.S.* [En línea] ECOLOPOR S.A.S, 19 de 01 de 2016. [Citado el: 2 de 10 de 2019.] <https://www.ecolopor.com/>.

**EcuRed. 2018.** EcuRed. *EcuRed.* [En línea] 03 de 2018. [https://www.ecured.cu/Hormig%C3%B3n\\_celular](https://www.ecured.cu/Hormig%C3%B3n_celular).

**EcuRed. 2017.** EcuRed. [En línea] 18 de 07 de 2017. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] [https://www.ecured.cu/Microscopio\\_electr%C3%B3nico\\_de\\_barrido](https://www.ecured.cu/Microscopio_electr%C3%B3nico_de_barrido).

**EUROPE, AIRCRETE. 2018.** AIRCRETE EUROPE. *AIRCRETE EUROPE.* [En línea] 30 de 07 de 2018. <http://www.aircrete-europe.com/es/concreto-celular-autoclavado/especificaciones.html>.

**G. M. Filz, D. K. Hodges, D. E. Weatherby, and W. A. Marr. 2005.** *Standardized Definitions and Laboratory Procedures for Soil-Cement.* Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg. Schnabel Engineering, Inc., Charlottesville. Blacksburg, Charlottesville : s.n., 2005.

**George B. Sowers, George F Sowers. 1972.** *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones* . México : EDITORIAL LIMUSA-WILEY S.A, 1972.

**González, Antonio Pérez. 2018.** Mecapedia. *Mecapedia.* [En línea] 09 de 03 de 2018. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] [http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente\\_de\\_Poisson.htm](http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm).

**Mecapedia. 2014.** Mecapedia. *Mecapedia.* [En línea] 24 de 06 de 2014. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <http://www.mecapedia.uji.es/tension.htm>.

**Mecapedia. 2014.** MECAPEDIA. *MECAPEDIA.* [En línea] 26 de 06 de 2014. [Citado el: 17 de 03 de 2019.] <http://www.mecapedia.uji.es/deformacion.htm>.

**González, María Camila. 2017.** Portafolio. *Portafolio.* [En línea] 17 de 08 de 2017. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] <https://www.portafolio.co/negocios/el-proyecto-de-ley-que-busca-prohibir-el-uso-del-icopor-508827>.

**I.C, MARIO HELBERTO LEAL NORIEGA. 2010.** *RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO RESILIENTE HALLADO POR RETROCALCULO Y.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. GOGOTÁ : s.n., 2010.

**ICONTEC. 2007.** ICONTEC. *ICONTEC.* [En línea] ICONTEC, 26 de 09 de 2007. [Citado el: 29 de 03 de 2019.]

[https://www.academia.edu/14595154/NTC\\_77\\_M%C3%89TODO\\_DE\\_ENSAYO\\_PARA\\_EL\\_AN%C3%81LISIS\\_POR\\_TAMIZADO\\_DE\\_LOS\\_AGREGADOS\\_FINOS\\_Y\\_GRUESOS](https://www.academia.edu/14595154/NTC_77_M%C3%89TODO_DE_ENSAYO_PARA_EL_AN%C3%81LISIS_POR_TAMIZADO_DE_LOS_AGREGADOS_FINOS_Y_GRUESOS).

**ICONTEC. 2007.** ICONTEC. *ICONTEC*. [En línea] ICONTEC, 12 de 09 de 2007. [Citado el: 20 de 09 de 2019.] <https://www.icontec.org/>.

**Icontec Internacional . 2014.** *NTC 121*. ICONTEC . s.l. : ICONTEC, 2014. Informe técnico .

**IDU. 2018.** IDU. *IDU*. [En línea] 15 de 06 de 2018. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>.

**IECA. 2018.** IECA. [En línea] 26 de 03 de 2018. [Citado el: 16 de 09 de 2018.] <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>.

**INGENIERÍAQUÍMICA.NET. 2018.** INGENIERÍAQUÍMICA.NET. *INGENIERÍAQUÍMICA.NET*. [En línea] INGENIERÍAQUÍMICA.NET, 27 de 03 de 2018. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/416-los-polimeros-y-sus-caracteristicas>.

**Instituto del Cemento Portland Argentino. 2015.** ICPA. [En línea] 2015. [Citado el: 19 de 09 de 2018.] <http://www.icpa.org.ar/publico/files/articulos-tecnicos/2015-07-Construccion-Suelo-Cemento.pdf>.

**Instituto Nacional de Vías. 2018.** [www.invias.gov.co](http://www.invias.gov.co). [En línea] 21 de 06 de 2018. [Citado el: 10 de 09 de 2018.] <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>.

**INVÍAS. 2018.** [www.invias.gov.co](http://www.invias.gov.co). [En línea] 30 de 07 de 2018. [Citado el: 10 de 09 de 2018.] <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/seguimiento-a-proyectos-2016/7851-red-primaria-30-de-junio-de-2018/file>.

**J, Cedron. 2011.** Química General. *Química General*. [En línea] 13 de 05 de 2011. [Citado el: 14 de 03 de 2019.] <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>.

**J. M. Khatib, B. A. Herki, A. Elkordi. 2019.** ScienceDirect. *ScienceDirect*. [En línea] 16 de 01 de 2019. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780081026762000074>.

**Joaquín Porrero, Carlos Ramos, José Grases, Gilberto Velazco. 2009.** *MANUAL DE CONCRETO ESTRUCTURAL*. CARACAS : SIDETUR, 2009. 255.

**José Angel Jurado Albarracín, Santiago Hernández Ibáñez. 2004.** ANALISIS ESTRUCTURAL DE PLACAS Y LAMINAS. *ANALISIS ESTRUCTURAL DE PLACAS Y LAMINAS*. España : Andavira Editora S.L., 2004, pág. 238.

**Laguros, Joakim George. 1962.** *Efectos de los productos químicos en la estabilización de suelo-cemento* . Iowa State University . Iowa : s.n., 1962.

**LÓPEZ, LIBIA GUTIÉRREZ DE. 2003.** *EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*. MANIZALES : UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES, 2003. 227.



**Luco, J.J. Aguirre. 2013.** ESPECIFICAR CDT. *ESPECIFICAR CDT*. [En línea] 24 de 08 de 2013. [Citado el: 17 de 03 de 2019.] <http://www.especificar.cl/fichas/poliestireno-expandido#>.

**Maps, Google.** Google Maps. *Google Maps*. [En línea] Alphabet Inc. [Citado el: 22 de 09 de 2019.] <https://www.google.com/maps/place/Homecenter+++Calima/@4.6190667,-74.0881625,16.97z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f997a92bb6dc1:0xfa6150569c201bfe!8m2!3d4.6190732!4d-74.0858595>.

**Mas, Verónica Ferrándiz. 2012.** Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. *Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades*. [En línea] 01 de 03 de 2012. [file:///C:/Users/mccas/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/DOSIFICACIONES%20DE%20EPS%20EN%20MORTEROS%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/mccas/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/DOSIFICACIONES%20DE%20EPS%20EN%20MORTEROS%20(3).pdf).

**Materials, American Society for Testing and.** *NORMA ASTM E-72*. West Conshohocken : American Society for Testing and Materials.

**Mendoza, Gregorio B. 2018.** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* [En línea] 08 de 04 de 2018. <http://www.imcyc.com/ct2008/abr08/tecnologia.htm>.

**Miguel Cervera Ruiz, Elena Blanco Díaz. 2001.** *Mecánica de Estructuras*. Barcelona : EDICIONS UPC, 2001. pág. 318. Vol. 1.

**ADICIONS UPC. 2001.** *Mecánica de Estructuras Libro 1 Resistencia de Materiales*. Barcelona : ADICIONS UPC, 2001.

**Ministerio de transporte. 2008.** Manual de diseño geométrico de carreteras. [En línea] 2008. [Citado el: 21 de 09 de 2018.] <http://artemisa.unicauca.edu.co/~carboled/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf>.

**Ngo, Tuan D. 2017.** ELSEVIER. *ELSEVIER*. [En línea] 15 de 09 de 2017. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S026412751730535X#s0095>.

**OECD. 2010.** OECD. *OECD*. [En línea] 2010. <https://www.oecd.org/sti/45302715.pdf>.

**ONU-HABITAT. 2015.** ONU-HABITAT. [En línea] 09 de 10 de 2015. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/viviendas/>.

**Oviedo, Universidad de. 2011.** Universidad de Oviedo. *Universidad de Oviedo*. [En línea] 19 de 07 de 2011. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <https://www.unioviedo.es/DCIF/MMContinuos/descargas/testestructuras/Hormigon/2%20Bases%20de%20proyecto/proceso%20rotura.pdf>.

**P. L. N. FERNANDO, M.T.R. JAYASINGHE, C. JAYASINGHE. 2017.** ELSEVIER. *ELSEVIER*. [En línea] 15 de 05 de 2017. [Citado el: 20 de 03 de 2019.] <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0950061817302106>.

**Palacio, Olga Lucia Londoño, Granados, Luis Facundo Maldonado y Villafañez, Liccy Catalina Calderón. 2016.** *DUÍA PARA CONSTRUIR ESTADOS DEL ARTE*. [ed.] ICONK. Bogotá : ICONK, 2016.

**Palella, Santa y Martins, Feliberto. 2012.** *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas : Fedupel, 2012. Vol. 3.

**PNUD . 2015.** www.co.undp.org. [En línea] 2015. [Citado el: 10 de 09 de 2018.]  
<http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODM/undp-co-odsinformedoc-2015.pdf>.

**Portland Cement Association. 2001.** *SOIL-CEMENT INSPECTOR'S MANUAL* . Orchard Road, Skokie, Illinois : s.n., 2001. 60077-1083.

**PPETROQUIM. 2012.** PPETROQUIM. *PPETROQUIM*. [En línea] 19 de 08 de 2012. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>.

**Propilven. 2002.** Propilven. *Propilven*. [En línea] Propilven, 20 de 02 de 2002. [Citado el: 14 de 11 de 2019.] [http://www.propilven.com/paginas/polipropileno\\_esp.html](http://www.propilven.com/paginas/polipropileno_esp.html).

**Putzmeister. 2014.** Putzmeister. *Putzmeister*. [En línea] 18 de 04 de 2014. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>.

**R, Marcela Sanhueza. 2019.** civilgeeks.com. *civilgeeks.com*. [En línea] Ministerio de obras públicas, 27 de 03 de 2019. [Citado el: 29 de 03 de 2019.]  
<https://civilgeeks.com/2019/03/27/algunos-datos-interesantes-sobre-el-hormigon-concreto/>.

**S.A., PROBACONS. 2018.** PROBACONS S.A. *PROBACONS S.A.* [En línea] 21 de 12 de 2018.  
<http://probacons.com/concreto-con-aire-incluido/>.

**Sika. 2014.** Sika. *Sika*. [En línea] 17 de 08 de 2014.  
<file:///C:/Users/mccas/Downloads/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>.

**SILVA, OMAR JAVIER. 2015.** ARGOS. *ARGOS*. [En línea] ARGOS, 13 de 03 de 2015. [Citado el: 29 de 03 de 2019.] <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>.

**Sutapa Deb, Nilanja Mitra, Subhasish Basu Majumber, Swati Maitra. 2018.** ELSEVIER. *ELSEVIER*. [En línea] 20 de 08 de 2018. [Citado el: 19 de 03 de 2019.] <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0950061818313655>.

**Tamayo, Mario. 2001.** *El proceso de la Investigación Científica*. México : Limusa, 2001. Vol. 4.

**Timoney, Martin J. 2017.** *Strength Verification of Stabilised Soil-Cement Columns:A Laboratory Investigation of the Push-In Resistance Test (PIRT)*. Galway, Ireland : s.n., 2017. pág. 50.

**Unidas, Asamblea General de las Naciones. 1948.** NACIONES UNIDAS. [En línea] 10 de 12 de 1948. [https://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR\\_Translations/spn.pdf](https://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR_Translations/spn.pdf).

**Universidad Del Cauca. 2009.** unicauca. [En línea] 2009. [Citado el: 16 de 09 de 2018.]  
[ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/lucruz/docs/Curso%20Mec%20Elnica%20de%20Suelos%20I/Mecanica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20\(17\\_18\).pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/lucruz/docs/Curso%20Mec%20Elnica%20de%20Suelos%20I/Mecanica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20(17_18).pdf).

**V. Ferrándiz-Mas, E. García-Alcocel. 2013.** ELSEVIER. *ELSEVIER*. [En línea] 12 de 09 de 2013. [Citado el: 18 de 03 de 2019.] <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0950061813003528>.

**Valencia, Sofia Gonzales. 2014.** Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia. *Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia*. [En línea] 16 de 06 de 2014. [https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-6308\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-6308_recurso_1.pdf).

**Wachtman, J. B. 1996.** *Mechanical properties of ceramics*. San Francisco : John Wiley & Sons, 1996.

## ANEXOS

### 1. Densidad y absorción (NTC 237)

El método de ensayo utilizado para hallar la densidad y absorción de los agregados en la presente investigación se llevó mediante la Norma Técnica Colombiana 237 (NTC 237) equivalente a la ASTM C128-93, en la cual se determina la densidad tanto aparente como nominal, y la absorción del agregado fino. El proceso llevado en este ensayo se realizó para las tres muestras de agregado fino, el cual se muestra a continuación, junto con los cálculos pertinentes para la obtención de los resultados mostrados en el ítem 3.2.1.3.

- Los materiales empleados para el presente ensayo se pueden observar en la figura 62.

**Figura 62. Materiales empleados en el ensayo de densidad y absorción**



Fuente: (Autores)

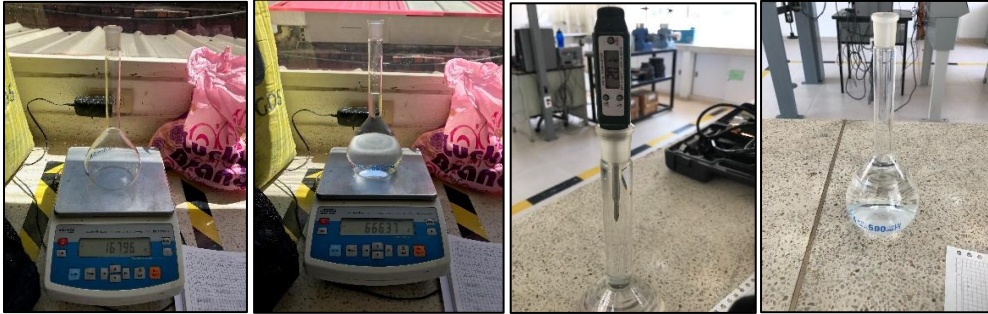
- Procedimiento.

**Figura 63. Muestra sumergida para caracterización física**



Fuente: (Autores)

**Figura 64. Medición de pesos y temperatura picnómetro**



Fuente: (Autores)

**Figura 65. Procedimiento estado triple S del agregado**



Fuente: (Autores)

**Figura 66. Ensayo cono humedad superficial**



Fuente: (Autores)

**Figura 67. Succión de vacíos y decantación de muestra**



Fuente: (Autores)

- Cálculos.

**Agregados y Construcción.**

*Peso muestra seca = 494,94 gr*

*Peso frasco (matrax) = 150,41 gr*

*Peso (matrax) lleno de agua = 651,11 gr*

*Peso frasco + muestra + agua = 962,15 gr*

*Peso muestra S.S.S. = 500 gr*

**Cálculo  $D_s$  aparente**

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

*$D_s$  aparente = Peso específico aparente*

*A = Peso muestra seca*

*B = Peso (matrax) lleno de agua*

*C = Peso frasco + muestra + agua*

*S = Peso muestra S.S.S.*

Entonces

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{494,94 \text{ gr}}{(651,11 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 962,15 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ aparente} = 2,613 \text{ gr/cm}^3$$

**Cálculo  $D_s$  aparente S.S.S.**

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{500 \text{ gr}}{(651,11 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 962,15 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 2,639 \text{ gr/cm}^3$$

### **Cálculo Ds nominal**

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{494,94 \text{ gr}}{(651,11 \text{ gr} + 494,94 \text{ gr} - 962,15 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ nominal} = 2,685 \text{ gr/cm}^3$$

### **Cálculo absorción**

$$\text{Absorción \%} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{(500 \text{ gr} - 494,94 \text{ gr})}{494,94 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = 1,0$$

### **Minas y Canteras**

*Peso muestra seca = 489,94 gr*

*Peso frasco (matrax) = 167,96 gr*

*Peso (matrax) lleno de agua = 666,37 gr*

*Peso frasco + muestra + agua = 966,38 gr*

*Peso muestra S.S.S. = 500 gr*

### **Cálculo Ds aparente**

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

*D<sub>s</sub> aparente = Peso específico aparente*

*A = Peso muestra seca*

*B = Peso (matrax) lleno de agua*

*C = Peso frasco + muestra + agua*

*S = Peso muestra S.S.S.*

Entonces

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{489,94 \text{ gr}}{(666,37 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 966,38 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ aparente} = 2,444 \text{ gr/cm}^3$$

### **Cálculo Ds aparente S.S.S.**

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{500 \text{ gr}}{(666,37 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 966,38 \text{ gr})}$$

$D_s$  aparente S.S.S. = 2,494 gr/cm<sup>3</sup>

### **Cálculo $D_s$ nominal**

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{489,94 \text{ gr}}{(666,37 \text{ gr} + 489,94 \text{ gr} - 966,38 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ nominal} = 2,573 \text{ gr/cm}^3$$

### **Cálculo absorción**

$$\text{Absorción \%} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{(500 \text{ gr} - 489,94 \text{ gr})}{489,94 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = 2,1$$

### **Caracas – San Javier**

Peso muestra seca = 488,75 gr

Peso frasco (matrax) = 162,97 gr

Peso (matrax) lleno de agua = 659,55 gr

Peso frasco + muestra + agua = 965,38 gr

Peso muestra S.S.S. = 500 gr

### **Cálculo $D_s$ aparente**

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

$D_s$  aparente = Peso específico aparente

A = Peso muestra seca

B = Peso (matrax) lleno de agua

C = Peso frasco + muestra + agua

S = Peso muestra S.S.S.

Entonces

$$D_s \text{ aparente} = 0,9975 \frac{488,75 \text{ gr}}{(659,55 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 965,38 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ aparente} = 2,511 \text{ gr/cm}^3$$

### **Cálculo $D_s$ aparente S.S.S.**

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{S}{(B + S - C)}$$



$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 0,9975 \frac{500 \text{ gr}}{(659,55 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 965,38 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ aparente S.S.S.} = 2,569 \text{ gr/cm}^3$$

### Cálculo Ds nominal

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$D_s \text{ nominal} = 0,9975 \frac{488,75 \text{ gr}}{(659,55 \text{ gr} + 488,75 \text{ gr} - 965,38 \text{ gr})}$$

$$D_s \text{ nominal} = 2,665 \text{ gr/cm}^3$$

### Cálculo absorción

$$\text{Absorción \%} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{(500 \text{ gr} - 488,75 \text{ gr})}{488,75 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = 2,3$$

## 2. Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (NTC 77)

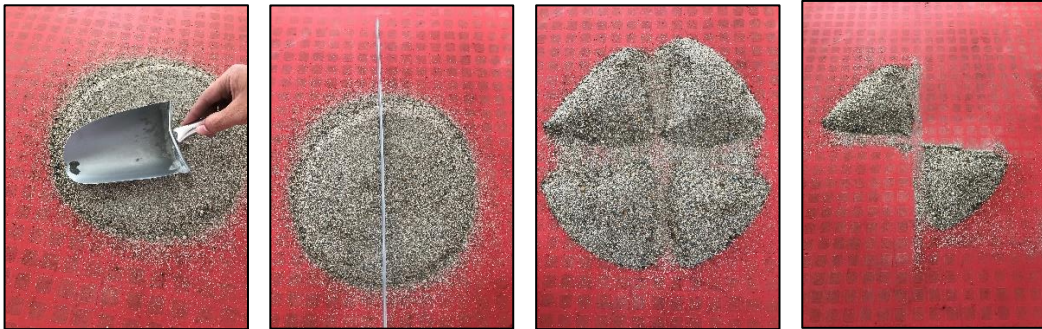
El método de ensayo utilizado para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos en la presente investigación se llevó mediante la Norma Técnica Colombiana 77 (NTC 77) equivalente a la ASTM C136-92, en la cual se determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado. El proceso llevado en este ensayo se realizó para las tres muestras de agregado fino, el cual se muestra a continuación.

**Figura 68. Preparación de muestra para el procedimiento de cuarteo**



Fuente: (Autores)

**Figura 69. Procedimiento de cuarteo en la muestra**



Fuente: (Autores)

**Figura 70. Procedimiento de tamizaje**



Fuente: (Autores)

### **3. Diseño de mezcla – Agregados y Construcción**

Para el diseño de mezcla planteado en los tres tipos de arenas empleados en la investigación, se realizaron los siguientes cálculos para un  $m^3$ , partiendo de la resistencia específica requerida a los 28 días, la resistencia promedio a la compresión requerida y los datos obtenidos en la caracterización de cada uno de los agregados. Lo anterior, se explica a continuación:

#### **Resistencia específica requerida a los 28 días**

La resistencia específica requerida a los 28 días estuvo dada por el uso que tendrían las láminas (placas) en la investigación, por ende, se planteó que el uso de estas sería para aplicaciones de acabados arquitectónicos, por lo tanto, no se requirieron resistencias en el mortero de cemento base, mayores a los 125-150  $Kgf/cm^2$  en el ensayo de cilindros a la compresión a los 28 días, es decir, que para esta investigación,  $F_c$  tendría un valor de 125  $Kgf/cm^2$ .

### **Resistencia promedio a la compresión requerida (Fcr)**

A falta de un registro previo de ensayos para determinar la desviación estándar, se procedió a utilizar la figura 12 “Resistencia promedio a la compresión requerida”, para el cálculo de Fcr, estimando un control de calidad intermedio, con el objeto de considerar la fabricación de las placas en ambientes domésticos:

$$Fcr = (125 + 80) \text{ Kgf/cm}^2 = 205 \text{ Kgf/cm}^2.$$

### **Relación agua/cemento**

Para determinar la relación agua/cemento de la mezcla, se hizo uso de las diferentes figuras planteadas en la metodología, en las cuales se obtenía la relación agua/cemento a partir de la resistencia promedio a la compresión requerida y la resistencia específica requerida a los 28 días.

En cuanto a la relación agua/cemento, cuando no se dispone de suficiente información para fundamentar el diseño de mezclas en la desviación estándar, como fue en el caso de la presente investigación, se pudo dosificar el concreto con base en los límites de la relación agua/cemento, dados en la figura 13 “Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra”, de donde se tomó una relación agua/cemento de 0,62. Asimismo, se hizo uso de la figura 14 “Relación agua/cemento”, en la cual se determinó la relación agua/cemento partiendo de la resistencia promedio a la compresión requerida (Fcr), obteniendo un valor de 0.68.

También, se empleó la figura 15 “Determinación de la relación agua/cemento”, hallando una relación con un valor de 0.56 teniendo en cuenta la resistencia promedio a la compresión requerida (Fcr).

Después, de haber analizado las figuras anteriormente descritas para hallar la relación agua/cemento en cada una de estas, se procedió a realizar un promedio aritmético con los valores obtenidos, para así, obtener un valor aproximado de 0,62 de la relación agua/cemento a emplear en el diseño de mezcla.

### **Dosis de cemento**

La dosis de cemento se estableció partiendo de las figuras planteadas en la metodología en las cuales se halló la cantidad de cemento empleando la resistencia promedio a la compresión requerida a los 28 días, el módulo de finura, la relación agua/cemento, el asentamiento o el flujo del diseño de mezcla.

De la figura 16 “Dosis de cemento” se obtuvo un valor 340 Kg para la cantidad de cemento, en la figura 17 “Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 102 y 113%” la dosis de cemento tuvo un valor de 490 Kg y de la figura 15 “Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 124 y 130%” el contenido de cemento fue de 520 Kg. Teniendo en cuenta los valores hallados anteriormente para la dosis de cemento, se procedió a realizar un promedio aritmético para tener una aproximación del valor de la cantidad de cemento, este valor fue de 450 Kg.

### **Cantidad de agua**

La cantidad de agua se calculó teniendo en cuenta la relación agua/cemento determinada y la cantidad de cemento hallada, mediante la siguiente ecuación: el contenido de agua será igual a el producto del contenido de cemento por la relación agua/cemento.

$$\text{Contenido de agua} = \text{Contenido de cemento} * \text{Relación agua/cemento}$$

$$\text{Contenido de agua} = 450 * 0,62$$

$$\text{Contenido de agua} = 280 \text{ L}$$

### **Volumen de aire**

Partiendo de lo planteado en la metodología, el volumen de aire en la mezcla se desprecia, tomando un valor de 0.

### **Contenido de arena**

Para poder hallar el contenido de arena, fue necesario determinar el volumen de cemento y el volumen de agua en unidad de m<sup>3</sup>.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso de cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{450 \text{ Kg}}{2968 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0,1516 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = 0,280 \text{ m}^3$$

*Volumen de arena = 1 – Volumen cemento – Volumen agua – Volumen aire*

*Volumen de arena = 1 – 0,1516 m<sup>3</sup> – 0,280 m<sup>3</sup> – 0*

*Volumen de arena = 0,568 m<sup>3</sup>*

*Masa arena = Volumen de arena \* Densidad arena*

*Masa arena = 0,568 m<sup>3</sup> \* 2685 kg/m<sup>3</sup>*

*Masa arena = 1525,08 Kg*

El volumen de mezcla para cada cilindro (probeta) de 10x20 cm, fue de 0,001570 m<sup>3</sup>, es decir, que para las 10 probetas utilizadas teniendo en cuenta un desperdicio en la mezcla del 10 %, el volumen tuvo un valor de 0,01738 m<sup>3</sup>.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 450 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}$$

*Cantidad de cemento = 7,821 Kg*

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 280 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

*Cantidad de agua = 4,86 L*

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 1525,08 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}$$

*Cantidad de agregado fino = 26,5 Kg*

#### **4. Diseño de mezcla – Minas y Canteras**

##### **Relación agua/cemento**

Para determinar la relación agua/cemento de la mezcla, se hizo uso de las diferentes figuras planteadas en la metodología, en las cuales se obtenía la relación agua/cemento a partir de la resistencia promedio a la compresión requerida y la resistencia específica requerida a los 28 días.

En cuanto a la relación agua/cemento, cuando no se dispone de suficiente información para fundamentar el diseño de mezclas en la desviación estándar, como fue en el caso de la presente investigación, se pudo dosificar el concreto con base en los límites de la relación agua/cemento, dados en la figura 13

“Relación agua/cemento máxima permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra”, de donde se tomó una relación agua/cemento de 0,62. Asimismo, se hizo uso de la figura 14 “Relación agua/cemento”, en la cual se determinó la relación agua/cemento partiendo de la resistencia promedio a la compresión requerida ( $F_{cr}$ ), obteniendo un valor de 0.68.

También, se empleó la figura 15 “Determinación de la relación agua/cemento”, hallando una relación con un valor de 0.56 teniendo en cuenta la resistencia promedio a la compresión requerida ( $F_{cr}$ ).

Después, de haber analizado las figuras anteriormente descritas para hallar la relación agua/cemento en cada una de estas, se procedió a realizar un promedio aritmético con los valores obtenidos, para así, obtener un valor aproximado de 0,62 de la relación agua/cemento a emplear en el diseño de mezcla.

### **Dosis de cemento**

La dosis de cemento se estableció partiendo de las figuras planteadas en la metodología en las cuales se halló la cantidad de cemento empleando la resistencia promedio a la compresión requerida a los 28 días, el módulo de finura, la relación agua/cemento, el asentamiento o el flujo del diseño de mezcla.

De la figura 16 “Dosis de cemento” se obtuvo un valor 340 Kg para la cantidad de cemento, en la figura 17 “Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 102 y 113%” la dosis de cemento tuvo un valor de 490 Kg y de la figura 15 “Determinación del contenido de cemento para un flujo entre 124 y 130%” el contenido de cemento fue de 520 Kg. Teniendo en cuenta los valores hallados anteriormente para la dosis de cemento, se procedió a realizar un promedio aritmético para tener una aproximación del valor de la cantidad de cemento, este valor fue de 450 Kg.

### **Cantidad de agua**

La cantidad de agua se calculó teniendo en cuenta la relación agua/cemento determinada y la cantidad de cemento hallada, mediante la siguiente ecuación: el contenido de agua será igual a el producto del contenido de cemento por la relación agua/cemento.

$$\text{Contenido de agua} = \text{Contenido de cemento} * \text{Relación agua/cemento}$$

$$\text{Contenido de agua} = 450 * 0,62$$

*Contenido de agua = 280 L*

### **Volumen de aire**

Partiendo de lo planteado en la metodología, el volumen de aire en la mezcla se desprecia, tomando un valor de 0.

### **Contenido de arena**

Para poder hallar el contenido de arena, fue necesario determinar el volumen de cemento y el volumen de agua en unidad de m<sup>3</sup>.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso de cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{450 \text{ Kg}}{2968 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0,1516 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = 0,280 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - \text{Volumen cemento} - \text{Volumen agua} - \text{Volumen aire}$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - 0,1516 \text{ m}^3 - 0,280 \text{ m}^3 - 0$$

$$\text{Volumen de arena} = 0,568 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa arena} = \text{Volumen de arena} * \text{Densidad arena}$$

$$\text{Masa arena} = 0,568 \text{ m}^3 * 2573 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa arena} = 1461,46 \text{ Kg}$$

El volumen de mezcla para cada cilindro (probeta) de 10x20 cm, fue de 0,001570 m<sup>3</sup>, es decir, que para las 10 probetas utilizadas teniendo en cuenta un desperdicio en la mezcla del 10 %, el volumen tuvo un valor de 0,01738 m<sup>3</sup>.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 450 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 7,821 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 280 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

*Cantidad de agua = 4,86 L*

$$Cantidad\ de\ agregado\ fino = \frac{0,01738\ m^3 * 1461,46\ Kg}{1\ m^3}$$

*Cantidad de agregado fino = 25,4 Kg*

## **5. Diseño de mezcla – Caracas – San Javier**

Para este caso se empleó la misma relación agua/cemento y la cantidad de cemento para desarrollar el diseño de mezcla de una forma generalizada teniendo en cuenta que los valores de relación/agua cemento y dosis de cemento no cambiaron en los diseños de mezcla para la arena de la empresa Agregados y Construcción y para el agregado de la empresa Minas y Canteras.

### **Cantidad de agua**

La cantidad de agua se calculó teniendo en cuenta la relación agua/cemento determinada y la cantidad de cemento hallada, mediante la siguiente ecuación: el contenido de agua será igual a el producto del contenido de cemento por la relación agua/cemento.

$$Contenido\ de\ agua = Contenido\ de\ cemento * Relación\ agua/cemento$$

$$Contenido\ de\ agua = 450 * 0,62$$

$$Contenido\ de\ agua = 280\ L$$

### **Volumen de aire**

Partiendo de lo planteado en la metodología, el volumen de aire en la mezcla se desprecia, tomando un valor de 0.

### **Contenido de arena**

Para poder hallar el contenido de arena, fue necesario determinar el volumen de cemento y el volumen de agua en unidad de m<sup>3</sup>.



$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso de cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{450 \text{ Kg}}{2968 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 0,1516 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = 0,280 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - \text{Volumen cemento} - \text{Volumen agua} - \text{Volumen aire}$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - 0,1516 \text{ m}^3 - 0,280 \text{ m}^3 - 0$$

$$\text{Volumen de arena} = 0,568 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa arena} = \text{Volumen de arena} * \text{Densidad arena}$$

$$\text{Masa arena} = 0,568 \text{ m}^3 * 2665 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa arena} = 1513,72 \text{ Kg}$$

El volumen de mezcla para cada cilindro (probeta) de 10x20 cm, fue de 0,001570 m<sup>3</sup>, es decir, que para las 10 probetas utilizadas teniendo en cuenta un desperdicio en la mezcla del 10 %, el volumen tuvo un valor de 0,01738 m<sup>3</sup>.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 450 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cantidad de cemento} = 7,821 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 280 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 4,86 \text{ L}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{0,01738 \text{ m}^3 * 1513,72 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 26,3 \text{ Kg}$$

## 6. Elaboración cilindros

A continuación, se puede apreciar el procedimiento que se llevó a cabo en los laboratorios para obtener las probetas (cilindros).

**Figura 71. Mezclado de agregado para cilindros**



Fuente: (Autores)

**Figura 72. Preparación de moldes para fundición**



Fuente: (Autores)

**Figura 73. Fundición de cilindros**



Fuente: (Autores)

**Figura 74. Identificación de los cilindros (probetas)**



Fuente: (Autores)

**Figura 75. Fraguado de cilindros**



Fuente: (Autores)

## **7. Caracterización mecánica de los cilindros (probetas)**

Acto seguido, se evidenciará por medio de ilustraciones el proceso que se llevó a cabo para la caracterización mecánica de los cilindros diseñados.

**Figura 76. Caracterización de cilindros**



Fuente: (Autores)

## **Caracterización mecánica de los cilindros – Agregados y Construcción**

**Tabla 42. Resistencia específica – Agregados y Construcción**

RESISTENCIA CILINDROS - AGREGADOS Y CONSTRUCCIÓN						
DIA	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	PESO (kg)	RESISTENCIA (KgF)	ESFUERZO (Kgf/cm2)	TIPO DE FALLA
7	10,17	202,83	3,61	5557,37	68,37	Cónica y dividida
7	10,11	201,77	3,59	5577,76	69,44	Cónica y dividida
7	10,17	202,10	64,70	6597,46	81,27	Cónica y dividida
14	10,18	203,03	3,55	7952,64	97,71	Transversal
14	10,15	203,57	3,53	7639,59	94,35	Transversal
14	10,16	202,43	3,53	8155,56	100,60	Transversal
28	10,04	202,90	3,50	9513,80	120,29	Transversal
28	10,08	203,20	3,52	11465,51	143,68	Transversal
28	10,12	202,27	3,65	11167,75	138,77	Transversal

Fuente: (Autores)

**Caracterización mecánica de los cilindros – Minas y Canteras****Tabla 43. Resistencia específica – Minas y Canteras**

RESISTENCIA CILINDROS - MINAS Y CANTERAS						
DIA	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	PESO (kg)	RESISTENCIA (KgF)	ESFUERZO (Kgf/cm2)	TIPO DE FALLA
7	10,19	203,60	3,48	4517,27	55,43	Cónica y dividida
7	10,18	203,97	3,50	4150,18	50,99	Cónica y dividida
7	10,12	204,73	3,53	4282,74	53,28	Cónica y dividida
14	10,16	203,23	3,46	5458,45	67,33	Transversal
14	10,08	204,47	3,40	5147,45	64,55	Transversal
14	10,21	203,73	3,52	4711,01	57,50	Cónica y dividida
28	10,20	204,08	3,52	7699,65	94,27	Cónica y dividida
28	10,11	203,93	3,52	8490,12	105,69	Cónica y dividida
28	10,16	204,57	3,52	8190,33	101,02	Cónica y dividida

Fuente: (Autores)

**Caracterización mecánica de los cilindros – Caracas – San Javier****Tabla 44. Resistencia específica – Caracas – San Javier**

RESISTENCIA CILINDROS CARACAS - SAN JAVIER						
DIA	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	PESO (kg)	RESISTENCIA (KgF)	ESFUERZO (Kgf/cm2)	TIPO DE FALLA
7	10,10	207,77	3,288	989,109	12,346	Cónica y transversal
7	10,10	196,90	2,857	832,483	10,391	Cónica y transversal
7	10,01	204,97	3,03	785,169	9,970	Cónica y transversal
14	10,14	203,53	3,289	1228,739	15,209	Cónica y dividida
14	10,09	205,20	3,118	1224,660	15,326	Cónica y dividida
14	9,90	204,30	3,076	1134,926	14,744	Cónica y dividida
28	10,04	204,37	3,268	2233,143	28,226	Transversal
28	10,07	204,77	3,354	2355,507	29,595	Transversal
28	10,06	191,53	2,91	2843,943	35,780	Transversal

Fuente: (Autores)

**Figura 77. Tipo de falla a compresión en las probetas**



Fuente: (Autores)

## 8. Construcción y curado de las láminas diseñadas

**Figura 78. Elaboración de formaletas**



Fuente: (Autores)

**Figura 79. Preparación de mezcla láminas (Mezcla matriz + polímeros)**



Fuente: (Autores)

**Figura 80. Fundición e identificación de muestras**



Fuente: (Autores)

**Figura 81. Proceso de desencofrado**



Fuente: (Autores)

**Figura 82. Desencofrado de láminas**



Fuente: (Autores)

**Figura 83. Indicación de muestras**



Fuente: (Autores)

**Figura 84. Muestras para curado**



Fuente: (Autores)

**Figura 85. Curado de muestras**



Fuente: (Autores)



## 9. Caracterización y dimensiones de láminas

**Tabla 45. Dimensiones láminas con fibras recicladas**

DIMENSIONES DE LÁMINAS CON FIBRAS RECICLADAS						
ESPESOR (mm)	% EPS	% FIBRAS	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	40	5	8,000	25,773	601,000	301,000
	50	5	7,380	25,810	599,667	303,333
	60	5	6,080	25,517	600,333	302,000
20	40	5	6,260	21,237	601,000	301,667
	50	5	5,830	21,517	602,000	302,667
	60	5	4,940	21,223	599,000	303,000
13	40	5	4,587	14,067	602,000	302,000
	50	5	3,967	14,300	600,667	301,333
	60	5	3,105	14,003	600,667	302,333
10	40	5	3,638	12,633	603,000	300,667
	50	5	3,092	11,683	601,333	300,667
	60	5	2,232	12,597	602,000	300,000

Fuente: (Autores)

**Tabla 46. Dimensiones láminas con fibras refinadas**

DIMENSIONES DE LÁMINAS CON FIBRAS REFINADAS						
ESPESOR (mm)	% EPS	% FIBRAS	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	40	5	8,699	26,450	600,000	300,000
	50	5	7,064	24,713	602,667	300,333
	60	5	5,765	24,927	601,333	301,667
20	40	5	6,564	19,957	599,000	211,067
	50	5	5,626	20,523	603,000	303,000
	60	5	4,78	20,833	600,000	301,000
13	40	5	4,457	14,567	600,667	302,667
	50	5	3,764	13,990	600,000	301,333
	60	5	3,067	14,167	600,333	301,333
10	40	5	3,311	10,693	601,000	300,000
	50	5	3,027	10,400	599,667	299,667
	60	5	2,663	10,023	600,667	299,333

Fuente: (Autores)

**Tabla 47. Dimensiones láminas muestra patrón**

DIMENSIONES DE LÁMINAS MUESTRA PATRÓN				
ESPESOR (mm)	PESO (Kg)	ESPESOR PROMEDIO (mm)	ALTURA PROMEDIO (mm)	ANCHO PROMEDIO (mm)
25	10,624	26,210	605,333	301,667
20	8,778	21,617	605,333	303,667
13	5,737	13,680	601,333	303,333
10	5,207	11,247	601,000	301,333

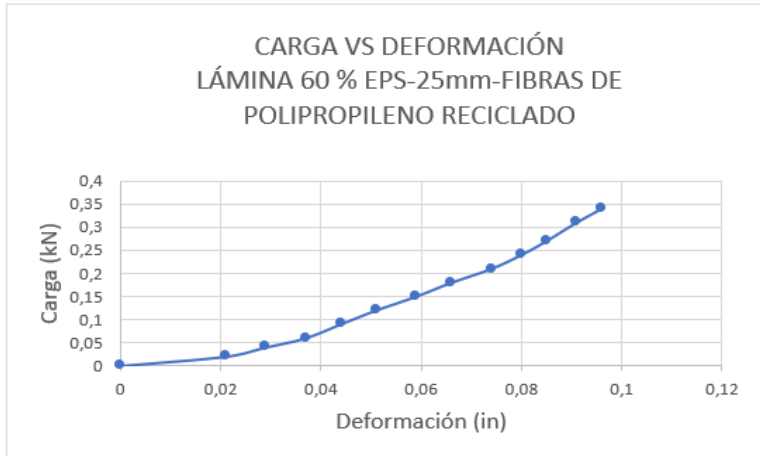
Fuente: (Autores)

## 10. Carga y deformación de láminas

- Láminas con espesor de 25 mm

**Figura 86. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 60% EPS**

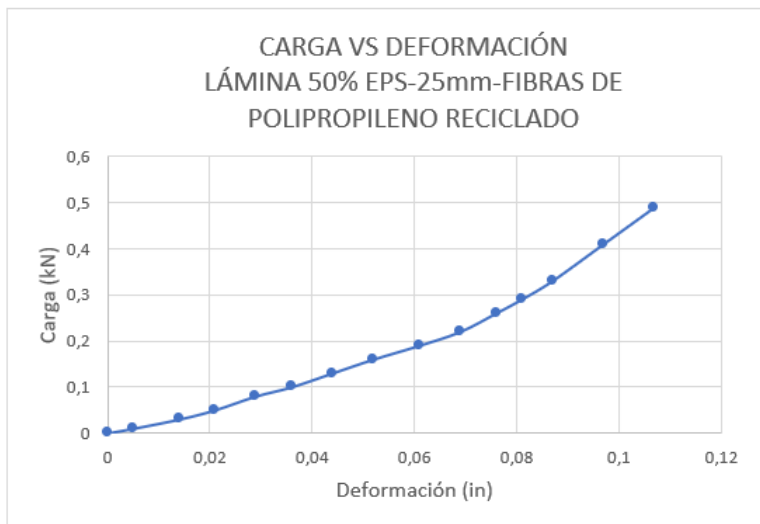
LÁMINA 60%-25mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,021
0,04	0,029
0,06	0,037
0,09	0,044
0,12	0,051
0,15	0,059
0,18	0,066
0,21	0,074
0,24	0,08
0,27	0,085
0,31	0,091
0,34	0,096



Fuente: (Autores)

**Figura 87. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 50% EPS**

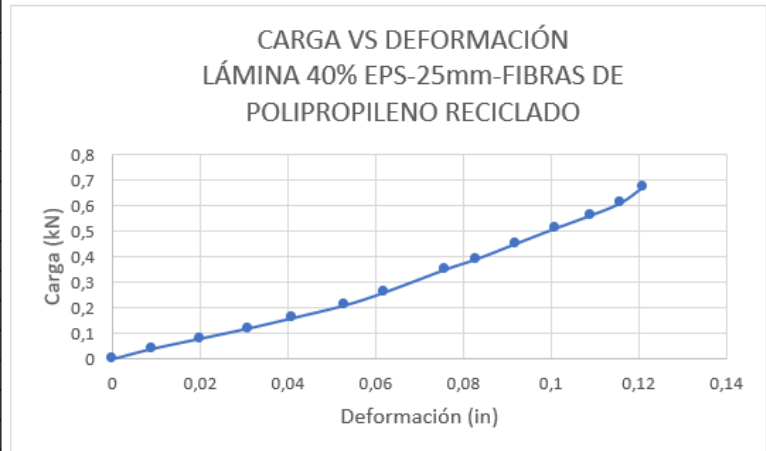
LÁMINA 50%-25mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,005
0,03	0,014
0,05	0,021
0,08	0,029
0,1	0,036
0,13	0,044
0,16	0,052
0,19	0,061
0,22	0,069
0,26	0,076
0,29	0,081
0,33	0,087
0,41	0,097
0,49	0,107



Fuente: (Autores)

**Figura 88. Carga vs Deformación – lámina fibras reciclada – 40% EPS**

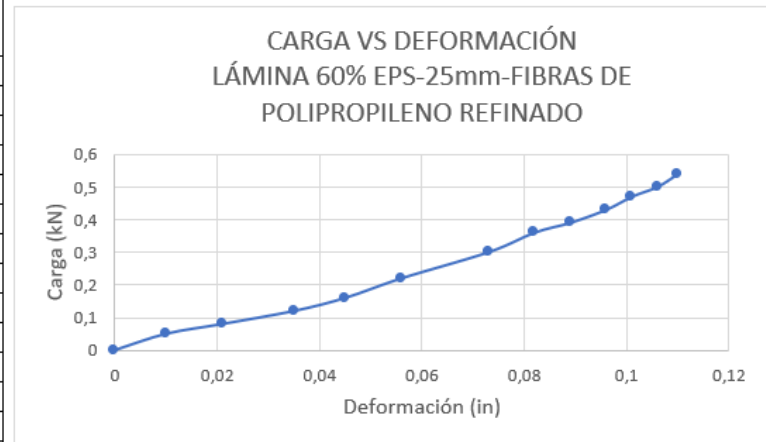
LÁMINA 40%-25mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,04	0,009
0,08	0,02
0,12	0,031
0,16	0,041
0,21	0,053
0,26	0,062
0,35	0,076
0,39	0,083
0,45	0,092
0,51	0,101
0,56	0,109
0,61	0,116
0,67	0,121



Fuente: (Autores)

**Figura 89. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS**

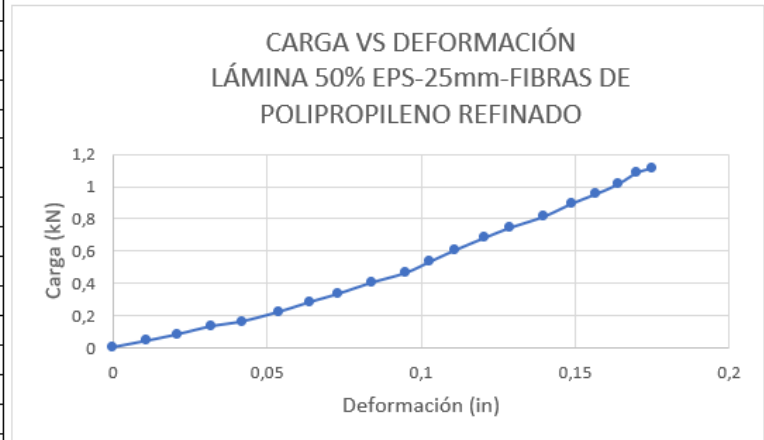
LÁMINA 60%-25mm-4 SEP-FIBRAS REFINADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,05	0,01
0,08	0,021
0,12	0,035
0,16	0,045
0,22	0,056
0,3	0,073
0,36	0,082
0,39	0,089
0,43	0,096
0,47	0,101
0,5	0,106
0,54	0,11



Fuente: (Autores)

**Figura 90. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS**

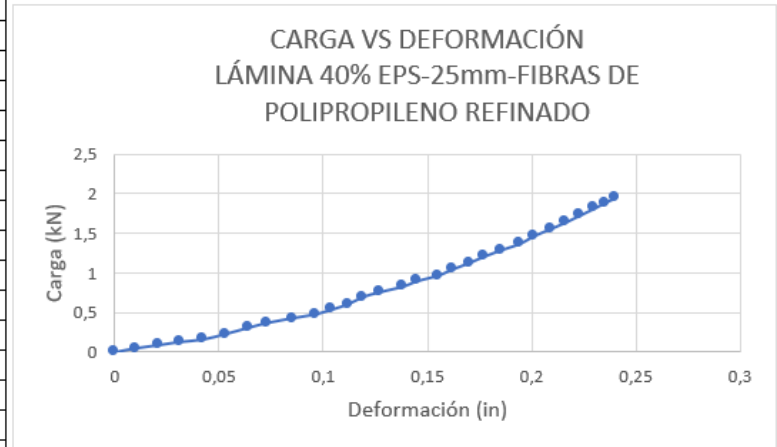
LÁMINA 50%-25mm-4 SEP-FIBRAS REFINADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,04	0,011
0,08	0,021
0,13	0,032
0,16	0,042
0,22	0,054
0,28	0,064
0,33	0,073
0,4	0,084
0,46	0,095
0,53	0,103
0,6	0,111
0,68	0,121
0,74	0,129
0,81	0,14
0,89	0,149
0,95	0,157
1,01	0,164
1,08	0,17
1,11	0,175



Fuente: (Autores)

**Figura 91. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS**

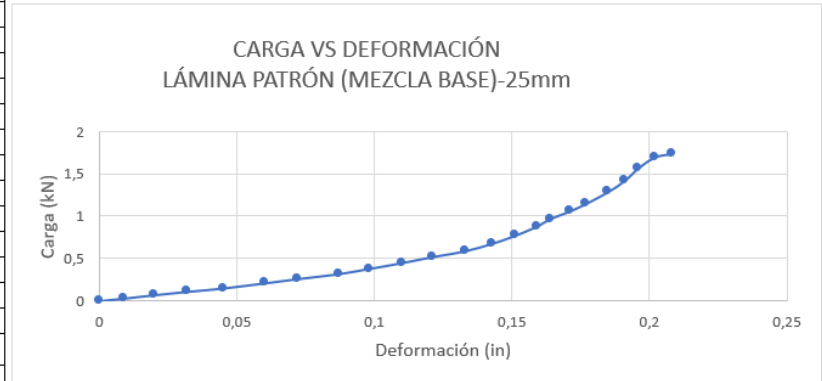
LÁMINA 40%-25mm-4 SEP-FIBRAS REFINADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,05	0,01
0,09	0,021
0,13	0,031
0,16	0,042
0,23	0,053
0,31	0,064
0,37	0,073
0,43	0,085
0,48	0,096
0,54	0,104
0,61	0,112
0,7	0,119
0,76	0,127
0,83	0,138
0,9	0,145
0,97	0,155
1,05	0,162
1,13	0,17
1,21	0,177
1,29	0,185
1,37	0,194
1,47	0,201
1,56	0,209
1,64	0,216
1,73	0,223
1,82	0,23
1,89	0,235
1,95	0,24



Fuente: (Autores)

**Figura 92. Carga vs Deformación – lámina patrón 25 mm**

LÁMINA MACIZA-25mm	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,03	0,009
0,07	0,02
0,11	0,032
0,15	0,045
0,21	0,06
0,26	0,072
0,32	0,087
0,38	0,098
0,45	0,11
0,52	0,121
0,59	0,133
0,68	0,143
0,77	0,151
0,88	0,159
0,97	0,164
1,06	0,171
1,15	0,177
1,29	0,185
1,42	0,191
1,57	0,196
1,7	0,202
1,74	0,208

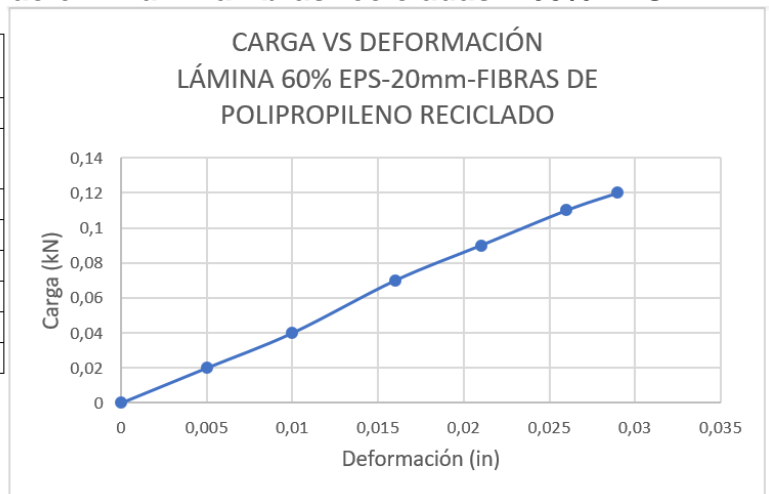


Fuente: (Autores)

- Láminas con espesor de 20 mm

**Figura 93. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS**

LÁMINA 60%-20mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,005
0,04	0,01
0,07	0,016
0,09	0,021
0,11	0,026
0,12	0,029



Fuente: (Autores)

**Figura 94. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS**

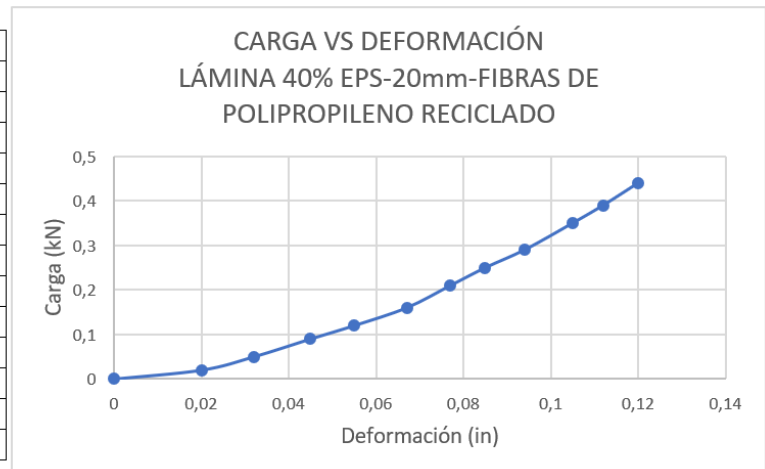
LÁMINA 50%-20mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,009
0,03	0,013
0,05	0,018
0,07	0,022
0,09	0,026
0,11	0,029
0,13	0,032
0,15	0,034
0,18	0,037
0,22	0,042



Fuente: (Autores)

**Figura 95. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS**

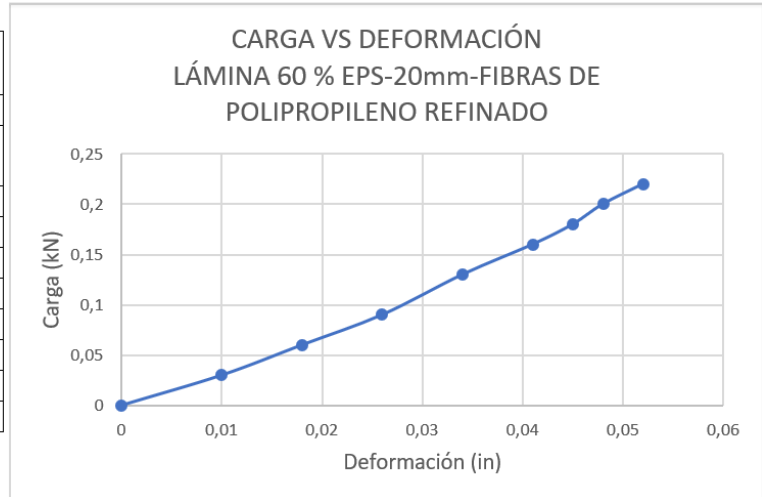
LÁMINA 40%-20mm-10 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,02
0,05	0,032
0,09	0,045
0,12	0,055
0,16	0,067
0,21	0,077
0,25	0,085
0,29	0,094
0,35	0,105
0,39	0,112
0,44	0,12



Fuente: (Autores)

**Figura 96. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS**

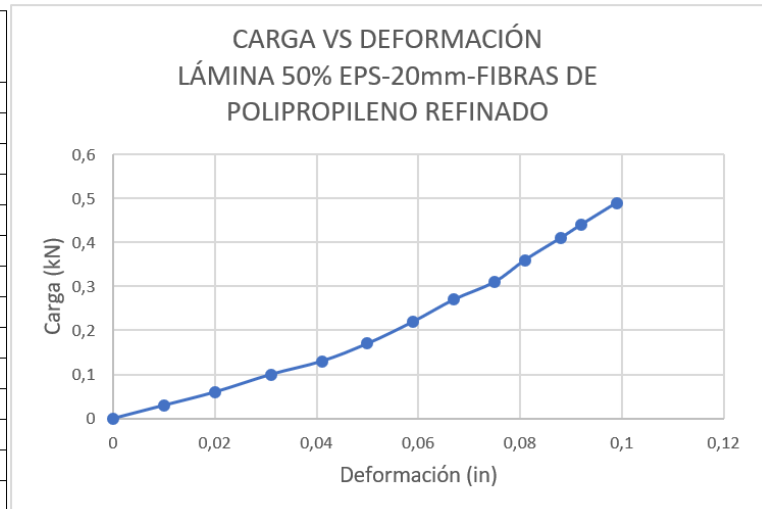
LÁMINA 60%-20mm-5 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,03	0,01
0,06	0,018
0,09	0,026
0,13	0,034
0,16	0,041
0,18	0,045
0,2	0,048
0,22	0,052



Fuente: (Autores)

**Figura 97. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS**

LÁMINA 50%-20mm-5 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,03	0,01
0,06	0,02
0,1	0,031
0,13	0,041
0,17	0,05
0,22	0,059
0,27	0,067
0,31	0,075
0,36	0,081
0,41	0,088
0,44	0,092
0,49	0,099

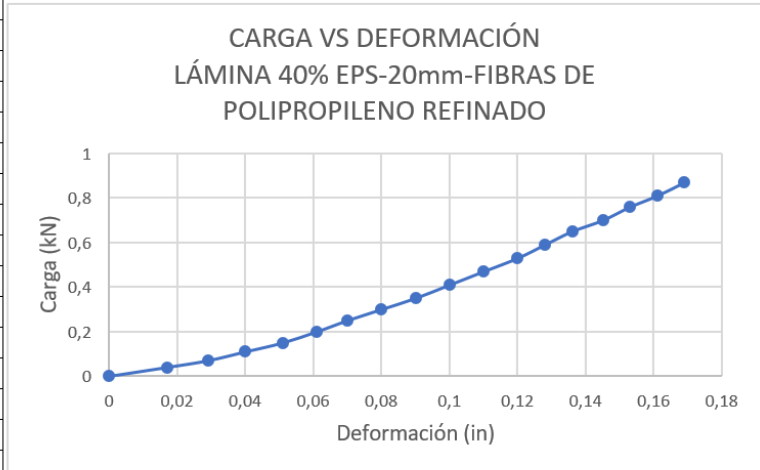


Fuente: (Autores)



**Figura 98. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS**

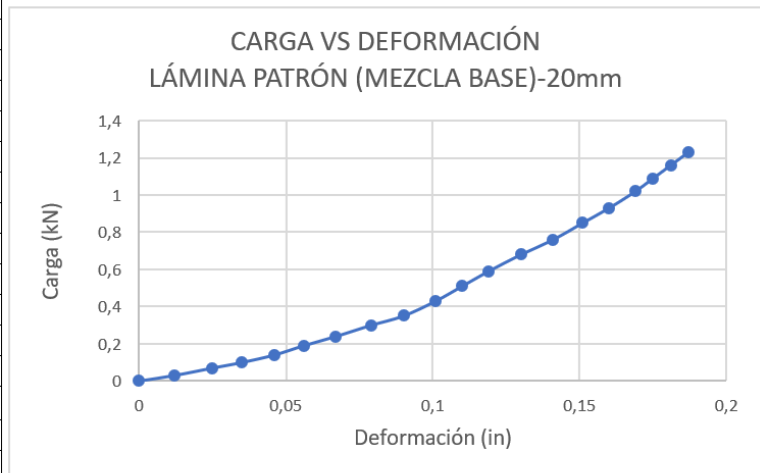
LÁMINA 40%-20mm-5 SEP-FIBRAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,04	0,017
0,07	0,029
0,11	0,04
0,15	0,051
0,2	0,061
0,25	0,07
0,3	0,08
0,35	0,09
0,41	0,1
0,47	0,11
0,53	0,12
0,59	0,128
0,65	0,136
0,7	0,145
0,76	0,153
0,81	0,161
0,87	0,169



Fuente: (Autores)

**Figura 99. Carga vs Deformación – lámina patrón 20 mm**

LÁMINA MACIZA-20mm	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,03	0,012
0,07	0,025
0,1	0,035
0,14	0,046
0,19	0,056
0,24	0,067
0,3	0,079
0,35	0,09
0,43	0,101
0,51	0,11
0,59	0,119
0,68	0,13
0,76	0,141
0,85	0,151
0,93	0,16
1,02	0,169
1,09	0,175
1,16	0,181
1,23	0,187



Fuente: (Autores)

- Láminas con espesor de 13 mm

**Figura 100. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS**

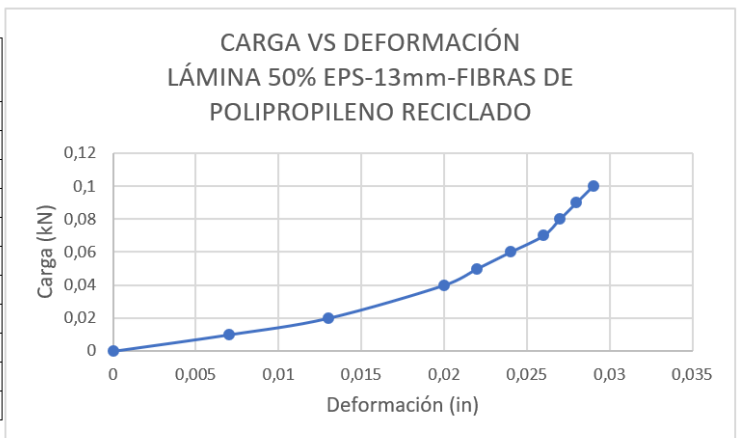
LÁMINA 60%-13mm-11 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,005
0,03	0,009
0,05	0,014
0,06	0,017



Fuente: (Autores)

**Figura 101. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS**

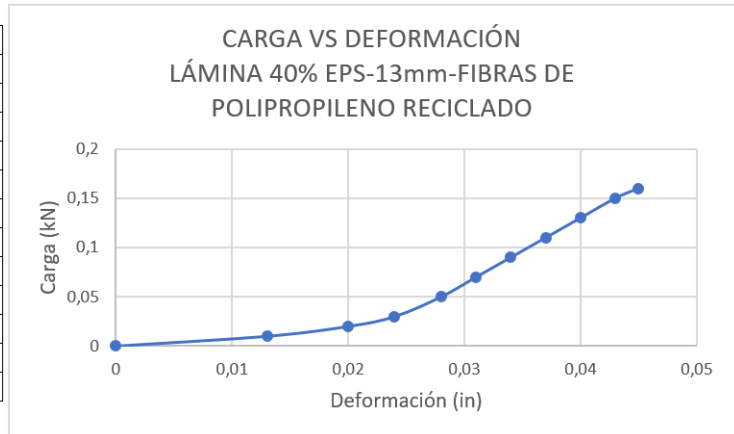
LÁMINA 50%-13mm-11 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,007
0,02	0,013
0,04	0,02
0,05	0,022
0,06	0,024
0,07	0,026
0,08	0,027
0,09	0,028
0,1	0,029



Fuente: (Autores)

**Figura 102. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS**

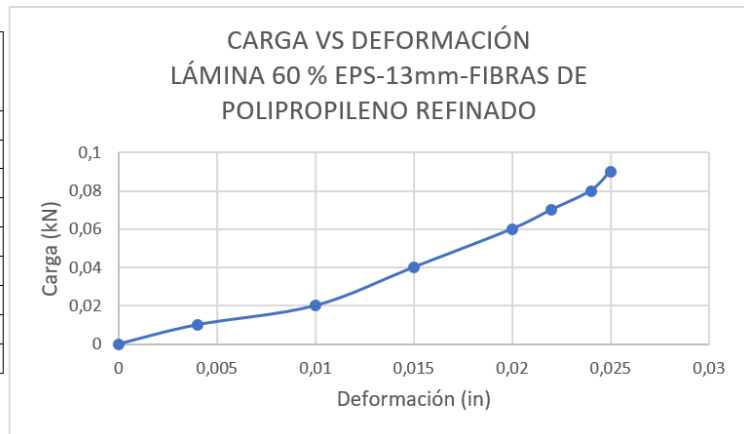
LÁMINA 40%-13mm-11 SEP-FIBRAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,013
0,02	0,02
0,03	0,024
0,05	0,028
0,07	0,031
0,09	0,034
0,11	0,037
0,13	0,04
0,15	0,043
0,16	0,045



Fuente: (Autores)

**Figura 103. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS**

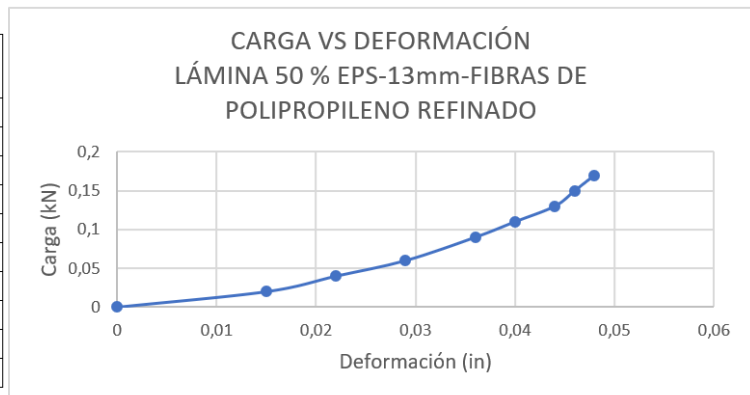
LÁMINA 60%-13mm-6 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,004
0,02	0,01
0,04	0,015
0,06	0,02
0,07	0,022
0,08	0,024
0,09	0,025



Fuente: (Autores)

**Figura 104. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS**

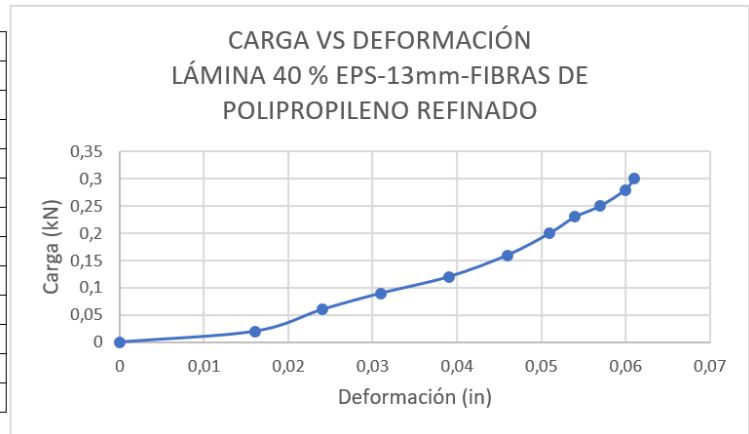
LÁMINA 50%-13mm-6 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,015
0,04	0,022
0,06	0,029
0,09	0,036
0,11	0,04
0,13	0,044
0,15	0,046
0,17	0,048



Fuente: (Autores)

**Figura 105. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS**

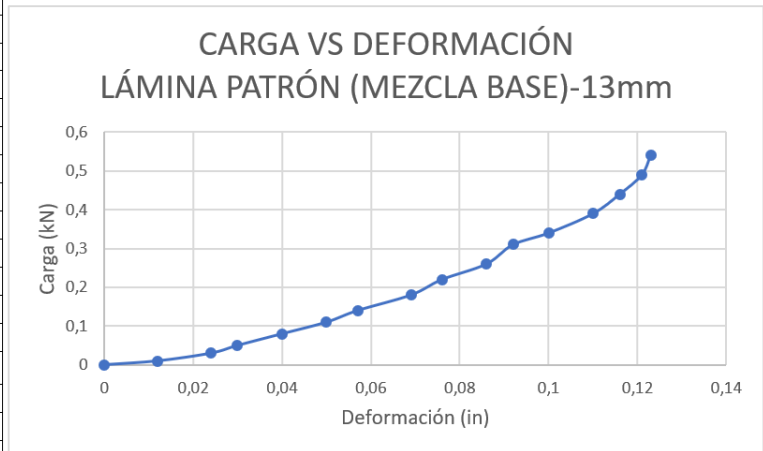
LÁMINA 40%-13mm-6 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,016
0,06	0,024
0,09	0,031
0,12	0,039
0,16	0,046
0,2	0,051
0,23	0,054
0,25	0,057
0,28	0,06
0,3	0,061



Fuente: (Autores)

**Figura 106. Carga vs Deformación – lámina patrón 13 mm**

LÁMINA MACIZA-13mm	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,012
0,03	0,024
0,05	0,03
0,08	0,04
0,11	0,05
0,14	0,057
0,18	0,069
0,22	0,076
0,26	0,086
0,31	0,092
0,34	0,1
0,39	0,11
0,44	0,116
0,49	0,121
0,54	0,123



Fuente: (Autores)

- Láminas con espesor de 10 mm

**Figura 107. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 60% EPS**

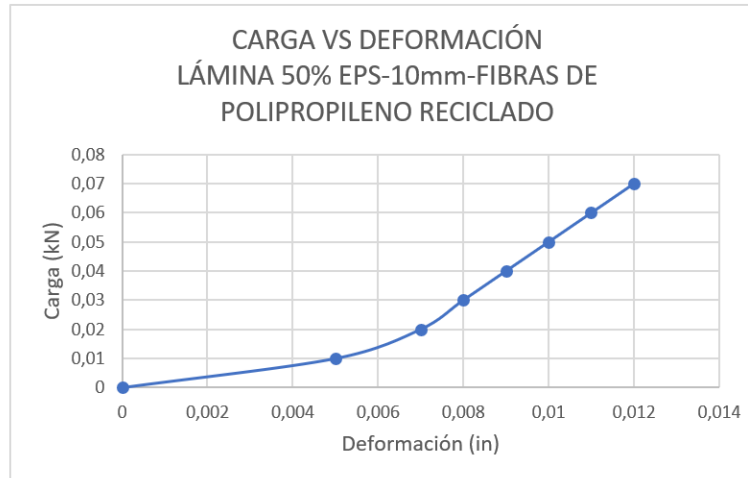
LÁMINA 60%-10mm-11 SEP-FIBRAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,007
0,02	0,009
0,03	0,01



Fuente: (Autores)

**Figura 108. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 50% EPS**

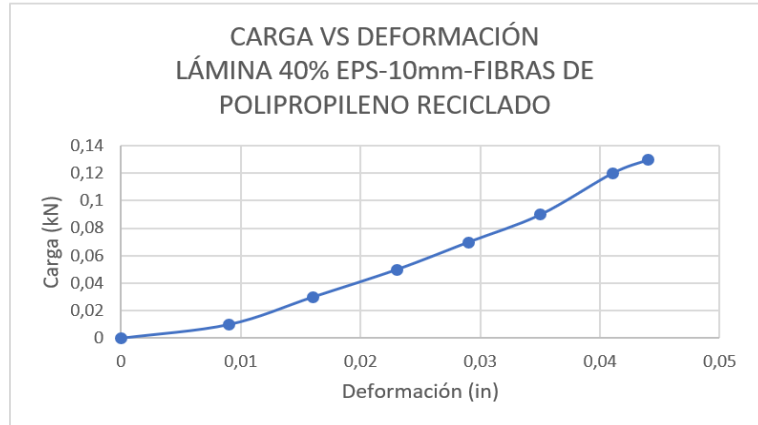
LÁMINA 50%-10mm-11 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,005
0,02	0,007
0,03	0,008
0,04	0,009
0,05	0,01
0,06	0,011
0,07	0,012



Fuente: (Autores)

**Figura 109. Carga vs Deformación – lámina fibras recicladas – 40% EPS**

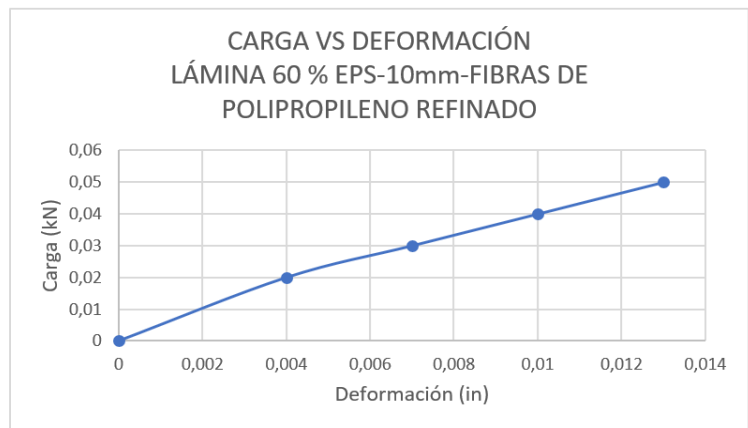
LÁMINA 40%-10mm-11 SEP-FIBRAS RECICLADAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,009
0,03	0,016
0,05	0,023
0,07	0,029
0,09	0,035
0,12	0,041
0,13	0,044



Fuente: (Autores)

**Figura 110. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 60% EPS**

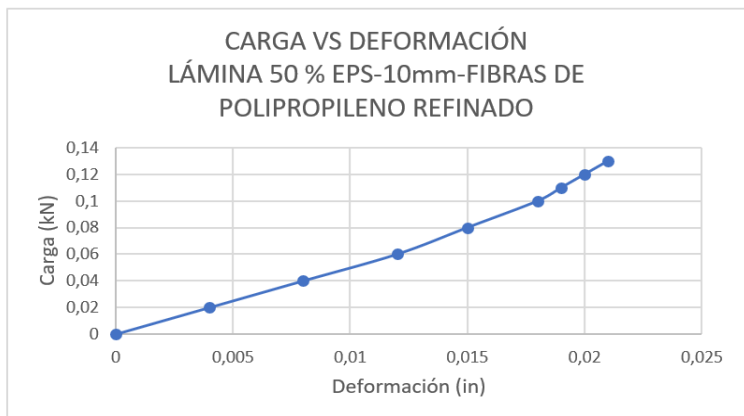
LÁMINA 60%-25mm-10 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,004
0,03	0,007
0,04	0,01
0,05	0,013



Fuente: (Autores)

**Figura 111. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 50% EPS**

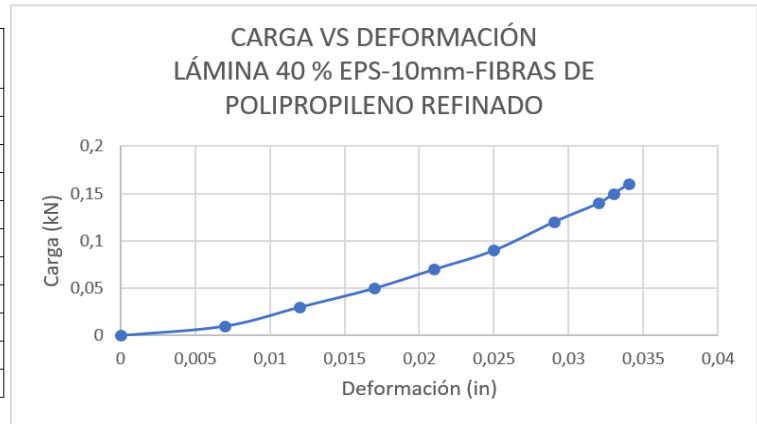
LÁMINA 50%-25mm-10 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,004
0,04	0,008
0,06	0,012
0,08	0,015
0,1	0,018
0,11	0,019
0,12	0,02
0,13	0,021



Fuente: (Autores)

**Figura 112. Carga vs Deformación – lámina fibras refinadas – 40% EPS**

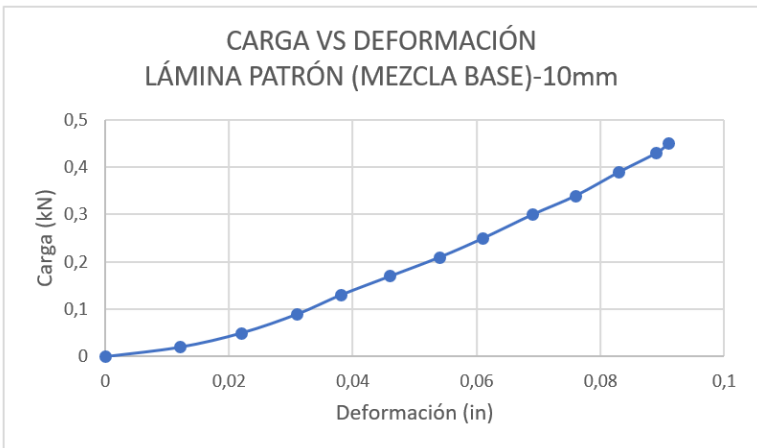
LÁMINA 40%-25mm-10 SEP-FIBRAS NUEVAS	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,01	0,007
0,03	0,012
0,05	0,017
0,07	0,021
0,09	0,025
0,12	0,029
0,14	0,032
0,15	0,033
0,16	0,034



Fuente: (Autores)

**Figura 113. Carga vs Deformación – lámina patrón 10 mm**

LÁMINA MACIZA -10mm	
CARGA (kN)	DEFORMACIÓN (in)
0	0
0,02	0,012
0,05	0,022
0,09	0,031
0,13	0,038
0,17	0,046
0,21	0,054
0,25	0,061
0,3	0,069
0,34	0,076
0,39	0,083
0,43	0,089
0,45	0,091



Fuente: (Autores)

## 11. Registro de consumo de laboratorio

**Figura 114. Consumo de horas en laboratorio**

CRONOGRAMA PRACTICAS DE LABORATORIO		
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL A FLEXIÓN DE PLACAS DELGADAS ALVEOLARES COMO ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS EN VIVIENDAS, MEDIANTE EL USO DE CEMENTO HIDRÁULICO Y POLÍMEROS		
PRACTICA N°	ENSAYO A REALIZAR	DURACIÓN (HORAS)
1	CRONOGRAMA	2
2	ALMACENAMIENTO DE MATERIAL	2
3	LAVADO DE MATERIAL	2
4	LAVADO DE MATERIAL	2
5	LAVADO DE MATERIAL	2
6	LAVADO DE MATERIAL	2
7	LAVADO DE MATERIAL	2
8	LAVADO DE MATERIAL	2
9	LAVADO DE MATERIAL	2
10	LAVADO DE MATERIAL	2
11	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA Y CUARTEO	2
12	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA Y CUARTEO	2
13	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA	2
14	ENSAYO DE MASAS UNITARIAS Y MATERIA ORGÁNICA	2
15	PREPARAR CILINDROS PARA FUNDIR	2
16	MEZCLA (SLAMP, ELABORACIÓN CILINDROS, ASEO)	3
17	MEZCLA (SLAMP, ELABORACIÓN CILINDROS, ASEO)	3
18	MEZCLA (SLAMP, ELABORACIÓN CILINDROS, ASEO)	3
19	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
20	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
21	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
22	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
23	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
24	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
25	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
26	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
27	ENSAYO A COMPRESIÓN	2
28	MEZCLA PLACAS (CONCRETO HIDRÁULICO + POLÍMEROS)	4
29	MEZCLA PLACAS (CONCRETO HIDRÁULICO + POLÍMEROS)	4
30	MEZCLA PLACAS (CONCRETO HIDRÁULICO + POLÍMEROS)	4
31	MEZCLA PLACAS (CONCRETO HIDRÁULICO + POLÍMEROS)	4
32	DESENCOFRADO PLACAS	2
33	FALLA DE PLACAS	4
34	FALLA DE PLACAS	4
35	FALLA DE PLACAS	4
	TOTAL HORAS	87

Fuente: (Autores)



## FIRMAS DE LOS ESTUDIANTES

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'A', 'B', and 'F'.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: ADRIAN BUSTOS FORERO  
Código: 506239

A handwritten signature in black ink, featuring a large, sweeping initial 'M' followed by several smaller, connected letters.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: MIGUEL ÁNGEL CASTILLO RAMIREZ  
Código: 506357

## FIRMA DEL ASESOR DEL TRABAJO DE GRADO

Firma: \_\_\_\_\_

Asesor del Anteproyecto

Nombre: **MSC. MBA. MARTIN EDUARDO ESPITIA NERY**

FECHA (16/11/2019)