

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

**DISEÑO DE COMPUESTO PARA PLAFONES
ECOLÓGICOS INTELIGENTES**

Tesis Profesional

Que para la obtención del Título de Ingeniero en Diseño Presenta:

ALAN HERNAN LAVARIEGA AQUINO

Con la dirección de:

Dr. Roberto Suárez Orduña

LOMA BONITA, OAXACA, 2018



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN INGENIERÍA EN DISEÑO

LA PRESENTE TESIS TITULADA "DISEÑO DE COMPUESTO PARA PLAFONES ECOLÓGICOS INTELIGENTES", PRESENTADA POR EL PASANTE ALAN HERNAN LAVARIEGA AQUINO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. ROBERTO SUÁREZ ORDUÑA, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO.

JURADO EXAMINADOR

DR. ROBERTO SUAREZ ORDUÑA
DIRECTOR

DR. AXEL VILLAVICENCIO TORRES
REVISOR

Laura Patricia Rivas Vázquez
DRA. LAURA PATRICIA RIVAS VÁZQUEZ
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, 2018.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con todo cariño a:

DIOS

Por ser un elemento único en mi vida el cual me ha llevado a comprender el sistema en el que vivimos para poder ser un ciudadano productivo ante la sociedad. También por mantenerme vivo para poder cumplir una más de mis metas en la vida y para agradecerle por estar a mi lado en todo momento de necesidad.

MIS PADRES

Con mucho cariño y amor a estas dos personas que han dado todo para que acabe mis estudios, les agradezco tanto pero tanto esfuerzo dado para que sea la persona que soy hoy en día, la conclusión de mi tesis refleja el compromiso que siempre he tenido para con ustedes a lo largo de mi trayectoria estudiantil y como hijo.

MIS HERMANOS

Miriam y Christopher por apoyarme moral y físicamente en los trabajos que he realizado para poder estar presente entregando un avance más de mi vida, sirviendo el mismo como ejemplo para motivarlos a nunca rendirse.

MIS MAESTROS

Que son los pilares de la enseñanza que me han creado en un buen estudiante con las herramientas necesarias para poder afrontar la competencia laboral de nuestros tiempos así como de haberme apoyado con la tesis y con mi formación como alumno durante toda la carrera.

Agradecimientos

A la **Universidad del Papaloapan** por haberme brindado el apoyo para lograr esta meta académica.

Agradezco a los profesores que han sido parte de este gran Proyecto directa e indirectamente, por su interés en tomarme en cuenta en trabajos institucionales y cursos de aprendizaje así como su enorme paciencia otorgada hacia mí.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los **Dres. Roberto Suárez Orduña y Laura Patricia Rivas Vázquez**, por haber confiado en mí, por su valiosa guía, dedicación, motivación y asesoramiento para la realización de esta tesis y más que unas palabras dedicarles los futuros triunfos a ustedes, porque más que ser piezas claves en mi tesis son amigos sinceros y amables con los cuales contare para siempre.

Al **D.I Alejandro Antonio Davila Palmieri** por ser un amigo que siempre tiene la mayor disposición para escuchar y tener paciencia cuando ni yo mismo quería tenérmela, así como sus valiosos consejos para la vida.

A mis revisores de tesis, **Dr. Axel Villavicencio Torres y la Dra. Laura Patricia Rivas Vázquez** por sus acertados comentarios y observaciones contribuyeron a las mejoras de este proyecto, y sobre todo por depositar la confianza en mí para realizar ciertas fases de la tesis a mí cargo.

A mi novia por todos los años que ha pasado a mi lado y ha sido participe de alguna manera en la culminación de este proyecto ya que gracias a su cuidado en mis momentos de enfermedad y de soledad me ayudo a regresar al camino para la realización de la tesis

A todos ustedes, **¡Gracias!**

RESUMEN

El objetivo general planteado fue diseñar un compuesto a base de materias orgánicas de fácil reposición al medio ambiente, esto con el fin de dar una alternativa al impacto ambiental de los plafones elaborados con polímeros, asbestos, maderas y materiales contaminantes.

A partir de investigaciones referenciadas a las propiedades físicas y químicas sobre algunas materias que a continuación se mencionan: bambú, vidrio, puzolana, oxidó de titanio, ceniza de caña, óxido de calcio, se aprovecharon las características de estos materiales para elaborar un material en módulos para ser usado en un espacio arquitectónico con fines más allá de la estética. La metodología y técnicas que se utilizaron son una adaptación de Ambrose-Harris, la cual se basa principalmente en ideación, investigación y experimentación del compuesto.

El compuesto se sometió a diversos ensayos físico-químicos en los cuales se obtuvo gráficas de DRX que muestran que en su mayor parte del compuesto es sílice en estado cuarzo alfa, el cual tiene una compresión de 380 kg cm^{-2} una resistencia a flexión de 160 kg cm^{-2} , una conductividad térmica $0.707 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$, es inflamable, protección acústica, homogéneo y antibacterial por el contenido de TiO_2 .

ABSTRACT

The general objective proposed was to design a composite based on environmentally friendly organic materials with the purpose of reducing the environmental impact of ceilings elaborated with polymers, asbestos, wood, and contaminant materials.

From referenced research on the physical and chemical properties of bamboo, glass, pozzolana, titanium oxide, cane ash and calcium oxide, their characteristics were considered in order to elaborate a modular element to be used in architectonic space with objectives beyond the esthetic.

The methodology and techniques that were used are an adaptation from Ambrose-Harris which is based mainly on ideation, investigation and experimentation of the composite.

The composite underwent different physical-chemical tests in which were obtained DRX graphics showing that most of the compound is sílice in quartz beta state, which has a compression of 380 kg cm^{-2} , a flex resistance of 160 kg cm^{-2} , a thermal conductivity of $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, sound protection and is flammable, homogeneous and antibacterial due to its TiO_2 content.

Índice

ÍNDICE DE GENERAL	I-III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV-V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
INTRODUCCIÓN	VII

PARTE I: ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LOS PLAFONES	5
2.2 TIPOS DE PLAFONES	6
2.2.1 <i>Plafón corrido</i>	6
2.2.2 <i>Plafón reticulado</i>	6
2.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PLAFONES..	7
2.3.1 <i>Mortero</i>	7
2.3.2 <i>Madera</i>	7-8
2.3.3 <i>Metal</i>	8-9
2.3.4 <i>Panel Yeso</i>	9

PARTE II: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3: PLAFONES ECOLÓGICOS ACTUALES	11
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PLAFONES ECOLÓGICOS	11-12
3.2 COMBINACIÓN DE MATERIALES ECOLÓGICOS	12-13
3.3 MATERIALES INTELIGENTES	13
3.3.1 <i>Bambú</i>	13
3.3.2 <i>Partes útiles del Bambú</i>	14
3.3.3 <i>Ceniza de caña</i>	13-15
3.3.4 <i>Silicato de Sodio</i>	16
3.3.5 <i>Puzolana</i>	17-18
3.4 VIDRIO	19
3.4.1 <i>Propiedades Mecánicas</i>	19
3.4.2 <i>Propiedades Térmicas</i>	19-20
3.4.3 <i>Propiedades Ópticas</i>	20
3.4.4 <i>Propiedades Técnicas</i>	21
3.5 CEMENTO BLANCO	22

3.5.1 Generalidades	21-22
3.5.2 Caliza	22-23
3.5.3 Caolín	23
3.5.4 Yeso	23-24
3.5.5 Componentes Químicos	24
3.6 ÓXIDO DE TITANIO	25-26
3.7 ÓXIDO DE CALCIO	26
3.7.1 Características del Óxido de Calcio	26
3.7.2 Cal Viva	26
3.7.3 Cal Hidratada	27
3.7.4 Cal Aérea	27-28
3.7.5 Cal Hidráulica	28
3.8 SÍLICE	28-29
3.9 PROPIEDADES INTELIGENTES DE LOS MATERIALES	29-30
3.10 DIFRACCIÓN DE RAYOS – X	30-31
3.11 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA	32
3.12 RESISTIVIMETRO	33-34
3.13 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN MATERIALES	34-35
3.14 HORNO DE MUFLA	35
3.15 ENSAYO EN PRENSA HIDRÁULICA	36-37
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA Y PREPARACIÓN DE MATERIAS	38
4.1 METODOLOGÍA – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	38
4.2 METODOLOGÍA – INVESTIGACIÓN	39
4.3 METODOLOGÍA – IDEACIÓN	40
4.4 PREPARACIÓN DE MATERIAS – VIDRIO	41-43
4.5 PREPARACIÓN DE MATERIAS – BAMBÚ	44
4.6 PREPARACIÓN DE MATERIAS – CENIZA DE CAÑA	45
4.7 PREPARACIÓN DE MATERIAS – MOLDES	46
CAPÍTULO 5: EXPERIMENTACIÓN DEL COMPUESTO	47
5.1 RELACIONES DEL COMPUESTO	47-52
5.2 EXPERIMENTACIÓN DE PRUEBAS REPLANTEADAS	52-53
5.3 EXPERIMENTACIÓN CON NUEVOS PARÁMETROS	53-61
5.4 ENSAYOS FÍSICOS PLANTEADOS AL COMPUESTO	62-63
CAPÍTULO 6: PRUEBAS MECÁNICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS	64
6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	64-65
6.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	66-67
6.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	68-69
6.4 ABSORCIÓN DE HUMEDAD	70
6.5 PRUEBA DE ULTRASONIDO	71
6.6 PRUEBA DE CORROSIÓN	71
6.7 RESISTENCIA A LLAMA DIRECTA	72-73
6.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER A LA CENIZA DE CAÑA	73-76
6.9 DIFRACCIÓN DE RAYOS-X	77-78
6.10 USABILIDAD DEL COMPUESTO	78-79

CAPÍTULO 7: MOLDE PARA EL COMPUESTO	80
7.1 FABRICACIÓN-MOLDE DEL PLAFÓN	80-82
7.2 FABRICACIÓN-MACETA CON EL MATERIAL RECICLADO DEL PLAFÓN.....	82-83
CAPÍTULO 8: DISEÑO Y DESARROLLO DEL MOLDE PARA EL COMPUESTO	83
8.1 CONCLUSIONES.....	83
8.2 RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS	85-87

Índice de Figuras

FIGURA 1. PLAFONES DE CONCRETO.....	7
FIGURA 2. PLAFÓN MONTADO	7
FIGURA 3. PLAFÓN DE MADERA RETICULADO.....	8
FIGURA 4. PLAFÓN MULTI-PERFORADO	8
FIGURA 5. PLAFÓN METÁLICO EMPOTRADO.....	9
FIGURA 6. PANEL YESO TEXTURIZADO	9
FIGURA 7. IMAGEN DE LAS PARTÍCULAS DE CENIZAS DE BAGAZO OBTENIDAS POR MEB	15
FIGURA 8. SILICATO DE SODIO	17
FIGURA 9. PUZOLANA BLANCA	18
FIGURA 10. VIDRIO TEMPLADO	21
FIGURA 11. VIDRIO TEMPLADO	21
FIGURA 12. RESISTIVIMETRO.....	33
FIGURA 13. MUFLA ELÉCTRICA.....	35
FIGURA 14. PRENSA DE CONCRETO.....	36
FIGURA 15. LIBRO DE AMBROSE – HARRIS.....	37
FIGURA 16. MATERIALES DEL COMPUESTO.....	39
FIGURA 17. VIDRIO TRANSPARENTE Y ÁMBAR.....	40
FIGURA 18. VIDRIO TRITURADO.....	40
FIGURA 19. JARRA DE MOLIENDO Y MOLIENDO DE ALÚMINA.....	41
FIGURA 20. MOLINO DE JARRAS.....	42
FIGURA 21. TAMÍZ (SEPARACIÓN DE GRANOS)	42
FIGURA 22. CORTE DE BAMBÚ.....	43
FIGURA 23. BAMBÚ DIFERENTES MEDIDAS.....	43
FIGURA 24. TRATAMIENTO TÉRMICO A LA CENIZA DE CAÑA.....	44
FIGURA 25. CENIZA DE CAÑA TRATADA A 900°C	45
FIGURA 26. LIMPIEZA DE MOLDES	45
FIGURA 27. RELACIÓN DEL COMPUESTO.....	46
FIGURA 28. RELACIÓN DE BAMBU CON LA MEZCLA.....	47
FIGURA 29. MEZCLA DE MATERIAS	47
FIGURA 30. MEZCLA DE VIRUTA DE BAMBÚ.....	48
FIGURA 31. MEZCLA DE ASERRÍN DE BAMBÚ	48
FIGURA 32. MEZCLA DE ASERRÍN DE BAMBÚ 2	49
FIGURA 33. MEZCLA CON LÁMINAS DELGADAS DE BAMBÚ	49
FIGURA 34. MEZCLA CON LÁMINAS DELGADAS DE BAMBÚ 2	50
FIGURA 35. MEZCLA CON LÁMINAS DELGADAS DE BAMBÚ 3	50
FIGURA 36. MEZCLA CON LÁMINAS ANCHAS DE BAMBÚ.....	51
FIGURA 37. VIDRIO MOLIDO PASADO POR EL TAMIZ 1.8 Y 4.45	52
FIGURA 38. BAMBÚ MOLIDO PASADO POR EL TAMIZ 1.1 Y 1.8.....	52
FIGURA 39. BLOQUE DE PRUEBA A REPLANTEAR.....	53
FIGURA 40. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 1-2.....	54
FIGURA 41. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 3-4.....	54
FIGURA 42. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 5-6.....	55
FIGURA 43. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 7-8.....	55
FIGURA 44. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 9-10.....	56
FIGURA 45. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 11-12.....	56

FIGURA 46. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 13-14	57
FIGURA 47. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 15-16	57
FIGURA 48. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 17-18	58
FIGURA 49. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 19-20	58
FIGURA 50. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 21-22	59
FIGURA 51. PRUEBA CON ASERRÍN DE BAMBU 23-24	59
FIGURA 52. RECUBRIMIENTO DE MEMBRANA DE CURADO	60
FIGURA 53. MUESTRAS LISTAS PARA ENSAYOS	62
FIGURA 54. BLOQUE SOMETIDO A COMPRESIÓN	63
FIGURA 55. FRACTURA DEL BLOQUE 2	64
FIGURA 56. VIGA SOMETIDA A FLEXIÓN	65
FIGURA 57. RUPTURA A FLEXIÓN DE LA VIGA	66
FIGURA 58. CIRCULO DEL COMPUESTO	67
FIGURA 59. PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	68
FIGURA 60. PRUEBA DE HUMEDAD	69
FIGURA 61. PRUEBA DE ULTRASONIDO	70
FIGURA 62. GRAFICA DE ULTRASONIDO DEL COMPUESTO	70
FIGURA 63. PRUEBA DE CORROSIÓN	71
FIGURA 64. RESISTENCIA A LLAMA DIRECTA	72
FIGURA 65. PRUEBA DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA	73
FIGURA 66. PRUEBA DE INFRARROJO	73
FIGURA 67. PRUEBA DE DIFRACCIÓN	74
FIGURA 68. USABILIDAD AL TALADRADO	76
FIGURA 69. USABILIDAD AL CORTE CON SIERRA	77
FIGURA 70. USABILIDAD AL CORTE CON SIERRA 2	77
FIGURA 71. MODO DE USO DEL MOLDE	78
FIGURA 72. MODO DE USO DEL MOLDE 2	79
FIGURA 73. MODO DE USO DEL MOLDE 3	79
FIGURA 74. PLAFÓN ELABORADO CON EL COMPUESTO	80
FIGURA 75. PREPARACIÓN DEL MACETERO	81
FIGURA 76. COMPUESTO RECICLADO	81

Índice de Tablas

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS DE CAÑA	15
TABLA 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES EN LA CENIZA POR DRX	15
TABLA 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLINQUER BLANCO Y GRIS DE CEMENTO DE PORTLAND.....	26
TABLA 4. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	65
TABLA 5. TEMPERATURAS DE REFERENCIA	69
TABLA 6. RELACIÓN PESO Y TIEMPO DE QUEMADO	73
TABLA 7. RESULTADOS FINALES	83

INTRODUCCIÓN

Durante el presente proyecto, se desarrolló el diseño del compuesto de un plafón ecológico que sea sustentable en el ámbito de construcción para ser útil en los espacios que demanda las construcciones urbanas, este plafón se elaboró con materias que se obtuvo del reciclaje de vidrio y ceniza de caña. Se ocupó también agregados como silicato de sodio, puzolana, bambú y óxido de titanio. Estos materiales estarán delimitados a hacerles pruebas de resistencia mecánica, térmicas, acústicas y bacteriológicas para poder pasar el control de calidad que actualmente los plafones ofrecen en el mercado.

La investigación y desarrollo del plafón se limitará a tratar de elaborar un material inteligente termo acústico, autorreparable y con auto limpieza, los materiales de uso para las pruebas se obtendrán de la región ya que se pretende reciclar desechos que durante la manufactura de un producto producen CO_2 , también solamente se utilizó un bambú endémico que existe en esta región, no se utilizaron otras especies para la realización de este proyecto.

Se elaboró patrones de distribución del bambú sobre el plafón y sus simulaciones en los bloques del compuesto que se pretenden obtener, junto con los planos y renders de construcción que se hicieron en el equipo de cómputo, así también se construyeron las muestras en los talleres de la Universidad del Papaloapan y donde se llevó un control del nuevo compuesto, las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio donde se limitaran los avances obtenidos a datos de control de calidad que servirán para la optimización gradual del tiempo y construcción del producto.

Los recursos fueron obtenidos dentro del estado de Oaxaca, específicamente de la región de la cuenca de Papaloapan, la especie de bambú que se utilizó fue *Guadua angustifolia*.

PARTE I
ANTECEDENTE

Capítulo 1

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1. 1 PLANTEAMIENTO

El problema con los plafones para techo es que son muy frágiles y una vez que están rotos, o dañados no importa que tanto se quieran reparar, estos pueden mancharse provocando el uso de más insumos para que la funcionabilidad de este permanezca, incluso hay plafones que por el material o construcción no refractan la luz ni el sonido, no fueron fabricados para una reparación eficiente, tarde o temprano serán inútiles. Por si esto fuera poco, una vez que se reemplaza un plafón, es muy difícil reciclarlos ya que contienen materiales que no son biodegradables con el paso del tiempo e incluso no pueden volverse a ocupar para la construcción de un nuevo plafón. La contaminación de la ceniza de caña y botellas de vidrio son recursos que pueden aprovecharse para aditivos al plafón, el bambú es muy común en la región de la Cuenca del Papaloapan y particularmente en Loma Bonita, Oaxaca. Básicamente crece en cualquier tipo de terreno y más en esta región que el clima es bastante húmedo y propicio para la reproducción del bambú se aprovecharía para que no se degrade al suelo y se le dé aplicación de lámina que le dé cuerpo al plafón. Concluyendo los dos problemas principales serán la reutilización de materias y la adaptación de estas para crear un plafón que se reparable con características que puedan evitar gastos de insumos y de luz.

Por esto se fabricó un plafón sustentable con características inteligentes y ecológicas.

1. 2 JUSTIFICACIÓN

Los plafones son los elementos que permiten la creación de un espacio libre no visible debajo de cualquier losa o techo, dicho espacio libre permite el paso de todas las instalaciones eléctricas, hidráulicas, de aire acondicionado, sin que sean vistos por los usuarios. Actualmente en el mercado existen dos clases de plafones los cuales son genéricos y ecológicos. Debido a factores de construcción las empresas fabrican plafones con materiales poliméricos los cuales no son biodegradables y acaban siendo contaminantes después de su tiempo de vida, las empresas que fabrican plafones ecológicos ocupan materias primas lo cual acaba siendo un problema ya que acaban con los recursos naturales. Los plafones son afectados a menudo por factores externos que logran debilitar el producto bajando su funcionalidad considerablemente y forzan el cambio del mismo. Dentro de estos problemas están el pandeo del material por compresión y humedad, la baja eficiencia de la refracción de la luz, permisión al paso del ruido, son susceptibles al fuego.

Con base en los problemas descritos anteriormente fue necesario el desarrollo y el diseño de un plafón ecológico que tenga productos reciclados post-consumo y post-industriales, con los cuales se redujo el impacto de la contaminación, también se hizo un producto inteligente que cumplió principalmente los siguientes factores, la auto reparación ante cualquier fisura donde la humedad quiera afectar el material, retardantes de llama, eficiencia energética al ser refractantes de los rayos de luz.

Hasta el momento no hay una línea o empresa que se dedique a la fabricación de plafones con características ecológicas cien por ciento redituables para el medio ambiente por eso se comprobó que usando materias primas de reciclaje orgánico se puede crear un plafón que cubra diferentes criterios funcionales y auto sustentables en un espacio arquitectónico.

1. 3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Fabricar un elemento de auxilio estructural (plafón) con características que beneficien al medio ambiente y estética del lugar donde se implemente, debe ser económico en su producción junto con fácil acceso a los materiales de fabricación, lo cuales ayudaran a bajar la contaminación como el buen aprovechamiento de materias orgánicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Adicionar propiedades singulares e inteligentes aun material a partir de materias ecológicas.
- Verificar por medio de experimentación que el material tenga las propiedades mecánicas necesarias para su uso en espacios constructivos.
- Reciclar de una forma sustentable las materias orgánicas de la región donde se elaborara el diseño del plafón.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LOS PLAFONES

Los plafones tensados tienen su origen desde épocas antiguas, en donde se comenzaron a utilizar telas para cubrir desde recintos sagrados, viviendas en la antigua Roma, Grecia, etc. No fue sino hasta el siglo XX cuando se retomó este tipo de plafones y fue en Suecia donde inició esto. De ahí fue creciendo su auge mayormente al Norte de Europa. En México somos pioneros en la fabricación de plafones tensados en el mercado, iniciando así una forma decorativa y funcional de mejorar los espacios arquitectónicos (Aguirre S., 2017).

En la construcción, se conoce como plafones a aquellos elementos que se emplean para crear sectores aprovechables, pero que no sean visibles, de bajo del techo. Por lo general, en el plafón se instalan cables o cañerías que son necesarios para la infraestructura de un edificio pero que, por motivos estéticos, se pretende mantener ocultos. Para desarrollar un plafón, lo habitual es que se utilicen perfiles metálicos unidos a la estructura del techo a través de cables galvanizados. Así se forma la estructura en cuestión para ocultar cableado, instalaciones (Porto, 2015).

Los Plafones ecológicos son un cielo falso que se coloca abajo del techo, para mejorar el aspecto y como elemento decorativo. Generando una cámara plena entre el techo y el plafón que nos generara un aislamiento térmico, un espacio para ocultar instalaciones; eléctricas, hidráulicas, sistemas contra fuego, de vigilancia y de seguridad, equipamiento, internet, cableado y ductos diversos, y tener plena accesibilidad a todos ellos.

2.2 TIPOS DE PLAFONES

2.2.1 Plafón corrido

Es aquel que no muestra su estructura, dejando la superficie totalmente lisa; este no presenta propiedades acústicas por tal razón su uso es generalmente decorativo. Se recomienda utilizar en lugares que no requieran absorción de ruido. Ideal para viviendas en áreas como sala, habitaciones, comedor.

2.2.2 Plafón reticulado

Son aquellos formados por un sistema de suspensión metálica y planchas cuadrículadas estandarizadas; poseen propiedades acústicas, una cualidad esencial a considerar cuando hacemos nuestra elección, puesto que los espacios de trabajo demandan mayores niveles de privacidad. Dentro de esta categoría encontramos diferentes tipos según el material con el cual se producen; uno de ellos son los plafones de fibra mineral, que a su vez podemos clasificarlos según la tecnología con la que son fabricados en: moldeados, elaborados con lana mineral, orienta las fibras para una mejor absorción y bloqueo del sonido. Ideales para áreas abiertas y zonas donde se requiera disminuir el ruido como hoteles, salones de conferencia. Los extruidos por agua, fabricados con lana mineral extruida. La superficie proporciona excelente absorción de sonido, ideales para áreas donde se requiere un balance acústico y en techos altos donde el acceso y la limpieza son poco frecuente, por ejemplos en supermercados y locales comerciales. Por último, el tipo X, elaborado mediante un proceso para crear superficies suaves. Poseen mayor estabilidad y resistencia al pandeo. Ideales para áreas abiertas que requieren de una gran absorción de sonido, como recepciones, tiendas por departamento, lobbies (Castro, 2017).

2.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PLAFONES

2.3.1 Mortero

El plafón consiste en una mezcla de cemento portland junto con polímeros látex secos los cuales se verterán en los moldes con las medidas plenamente planteadas y calculadas para el espacio arquitectónico, después de verter la mezcla se agrega agua para su combinación el cual llevara a una pasta homogénea la cual se pegara por la parte exterior con cinta adhesiva formando paneles que luego se podrán manipular en materia de usabilidad, en la (figura 1-2) se puede apreciar un ejemplo de los plafones de concreto (Palacios, 2016).



Figura 1: Plafones de concreto¹



Figura 2: Plafón montado²

2.3.2 Madera

Estos plafones, están realizados con las maderas más resistentes a la intemperie, no obstante, y para certificar su calidad, son sometidas a procesos de acabados, siendo resistentes a sol, lluvia, calor y frío, ofreciendo por lo tanto una larga vida útil con poco mantenimiento, gracias a las características de la misma madera, y a los procesos de acabado de los plafones reticulados de madera como se puede observar en la (figura 3) (mientras que la madera de pino se cuperiza, el Lapacho, la Teka, el Merbau y el Iroko se barnizan siguiendo las últimas técnicas en aplicación de barnices) permiten aplicarle nuevas capas de barniz sin necesidad de ser lijadas.

¹ Imagen obtenida en: <https://prezi.com/nudihlv5t1cf/acabado-en-plafones-de-concreto/>

² Imagen obtenida en: <http://www.prefabricadoslaarenosa.com/img/0409/685.jpg>

Los plafones de madera tienen opciones de pandeo para espacios que requieran el uso acústico del lugar e incluso los acabados de multiperforaciones pueden ser establecidos por el cliente tanto el ancho de los orificios como el patrón a elaborar como se muestra en la (figura 4), el tiempo de vida de estos plafones es relativamente corta en comparación con los de producción común en el mercado, pero estos cuentan con la manejabilidad del material permitiendo una amplia gama más grande de los productos de este material (Armstrongceilings, 2012).



Figura 3: Plafón de madera reticulado³

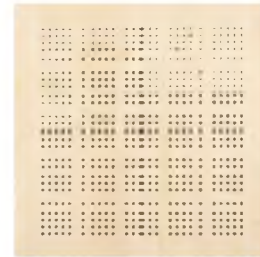


Figura 4: Plafón multi-perforado⁴

2.3.3 Metálico

El plafón metálico presenta una mayor resistencia a las condiciones de trabajo, puede ser ocupado en espacios con formas caprichosas, se pueden hacer una variedad de diseños en 3D con las placas metálicas que pueden llegar hacer desde acero inoxidable convencional, latón, alpaca y aluminio, ver (figura 5), estos pueden permitir que los diseños varíen de precio y de forma según lo requiera el cliente. Estos plafones vienen en presentaciones individuales y tienen la ventaja de que se pueden perforar para colocar cualquier tipo de conexión eléctrica, su resistencia es muy alta pero generan peso agregado al techo y tienen la desventaja de tener un alto costo en su adquisición y su instalación (Arch-Daily, 2012).

³ Imagen obtenida en: <https://mx.all.biz/img/mx/catalogo/25433.jpeg>

⁴ Imagen obtenida en: <http://www.procovers.com.mx>



Figura 5: Plafón metálico empotrado⁵

2.3.3 Panel yeso

Panel de yeso (material más utilizado, aunque no el único) es una placa de roca de sulfato de calcio calcinado, mejorado con aditivo, fabricada y laminada en varios tamaños y espesores como se observa en la (figura 6), cubierta con cartoncillo manila en sus dos caras, utilizadas en la construcción también en algunos casos para muros exteriores, este material recientemente a partir del años 2015 se empezó a combinar con fibra de vidrio y polímeros para un mayor ahorro de material y de trabajo, generando paneles de más resistencia, pero con la desventaja de que al ser un material no reciclable no es idóneo la producción a gran escala, lamentablemente por los costos y la usabilidad este plafón es el más comercial dentro de su gama, en ocasiones pueden contener asbestos lo que lo hacen un material tóxico, sus presentaciones más que de formas se basan más en texturas de diferentes índoles, el precio es relativamente bajo y son de fácil colocación en la estructura, ya que se adaptan tanto a la forma reticulada como a la corrida.

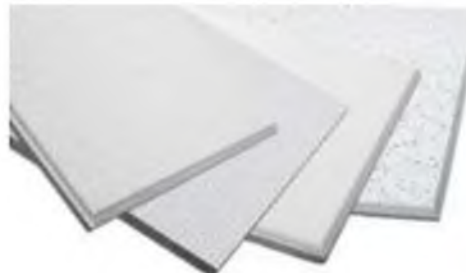


Figura 6: Panel yeso texturizado⁶

⁵ Imagen obtenida en: http://www.elcerramiento.mx/img_notas/1703/SimpleyfacilACUS1.ipg

⁶ Imagen obtenida en: http://panelrev.com/sites/default/files/styles/w683/public/Armstrona_0.ipg?itok=kIJmHR8w

PARTE II
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Capítulo 3

MATERIALES Y EQUIPO DE MEDICIÓN

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PLAFONES ECÓLOGICOS

- La reflexión de luz en los plafones ilumina espacios con la luz natural del día.
- Al no estar pintado, se garantiza que la textura no se tornará amarillenta ante cambios de temperatura o desgaste físico.
- Su composición natural le otorga una larga vida útil.
- Sus propiedades higrométricas permiten su instalación en ambientes con alta humedad.
- El confort acústico es resultado del aislamiento y de la absorción del sonido.
- Soportan los manejos rutinarios en la obra al momento de colocar o cortar.
- Los plafones son compatibles con cualquier tipo de suspensión nacional que soporten hasta 12 kg m^{-2} (Europlak, 2014).
- Son productos 100% reciclables, una vez terminada su vida útil, puede ser regresado a la Fábrica donde se recicla y vuelve a iniciar su proceso.
- No contienen asbestos, ni fibras de celulosa o similares orgánicas, es un producto 100% inorgánico.
- El color es regularmente es blanco natural integral.
- No requiere condiciones ambientales especiales, puede ser instalado en cualquier etapa de la construcción y mantiene su estabilidad dimensional.
- Resistente a la humedad hasta el 90%.
- Todas las propiedades se basan en la naturaleza misma de sus componentes, no requieren tratamientos adicionales.
- Ligero 8.5 kg m^{-2} como máximo, 88% de reflexión a la luz como mínimo, resistente al fuego.

- Una función primordial que surgió después para los plafones, es mejorar la acústica de un lugar. La acústica tanto en absorción de sonido para evitar rebotes, logrando un ambiente más confortable. Como también para aislar el sonido que pasa de un cuarto contiguo a otro, o entre pisos.
- Todos los plafones suspendidos proveen una barrera natural, de resistencia al fuego, adicionalmente existen plafones resistentes al fuego, que aplicados con la suspensión correspondiente logran retardar los efectos del fuego hasta por una hora más.
- Otro punto que se busca es una más eficiente forma de dirigir, una luz difusa, y una mayor reflexión lumínica, de tal forma que se pueden poner lámparas que iluminen el plafón para que este a su vez refleje una luz que no rebote en las pantallas de las computadoras y ni sea molesta a nuestra visual. Adicional a los productos estándares tenemos plafones de alta reflexión lumínica (Valenzuela, 2010).

3.2 COMBINACIÓN DE MATERIALES ECÓLOGICOS

En plafones compuestos por 50% de papel reciclado y 50% de fibra de vidrio investigación desarrollada en el instituto politécnico nacional, los resultados fueron muy prometedores ya que el material mostro resistencias mecánicas interesantes pero encontraron un déficit de humedad (Montoya, 2010).

Las soluciones constructivas formadas de placas fabricadas a base de yeso, agua y fibra de vidrio, esta nueva técnica está siendo implementada en México desde el 2015 con el fin de no usar polímeros, la gran desventaja de este material es su corto tiempo de vida, ya que no hay ni un material interno que lo mantenga consistente o duro (Arch-Daily, 2017).

La perlita volcánica expandida, es la más reciente forma de crear plafones realmente ecológicos, la perlita no necesita un aglomerante, solo agua y una compactadora de alta presión para formar los paneles, no presenta ni una desventaja mecánica pero económica un poco ya que el proceso de extracción y de formación de la perlita volcánica es costoso (EuroStone, 2014).

Lamentablemente no se ha desarrollado mucho interés o avance sobre el uso ecológico de estos elementos de auxilio estructural es por eso que se pretende concretar la tesis que implemente plafones más ecológicos e inteligentes.

3.3 MATERIALES INTELIGENTES

3.3.1 Bambú

Existen cientos de variedades de bambú, pero no todas son convenientes para la construcción. El tipo de bambú que se utiliza más comúnmente para la construcción es una especie de bambú gigante de Sudamérica conocida como la Guadua (*Guadua angustifolia*).

Biotipos de *Guadua angustifolia*

Hay varios biotipos de la Guadua. Todos los biotipos son de la misma especie, pero debido a la gran diversidad morfológica la especie se divide en biotipos según sus características físicas. Algunos biotipos de la Guadua son:

- *Guadua angustifolia* **Biotipo Macana:** Es excelente para la construcción. Las cañas son bastante uniformes de diámetro, con las paredes gruesas y con distancias cortas y regulares entre nudo y nudo. Estas características imparten mucha fuerza a las cañas.
- *Guadua angustifolia* **Biotipo Castilla:** Así como sugiere su nombre, la Guadua biotipo Castilla es grueso y resistente, por lo cual es utilizado frecuentemente como columnas en las construcciones.

- *Guadua angustifolia* **Biotipo Cebolla:** Los culmos son gruesas y rectas, con entrenudos largos. Es útil para la construcción de viviendas, así como para la fabricación de muebles y esterillas.
- *Guadua angustifolia* **Biotipo Cotuda:** Es un tipo de bambú estéticamente agradable porque los entrenudos tienen una curvatura que cambia de dirección en cada nudo. No es tan común en la construcción, sin embargo, se aprovecha para fabricar muebles y artesanías (Jairo Alexander Osorio Saraz., 2008).

3.3.2 Partes útiles del Bambú

Cada palo se divide en 4 partes que se pueden usar en la construcción de objetos:

- **La basa (la cepa):** Es el tramo del tallo entre los 4 y 8 metros. La basa del bambú se usa para hacer la estructura principal de una construcción. Se puede utilizar para cimientos, postes, columnas y vigas.
- **La sobrebasa:** Es el tramo del tallo entre los 8 y 12 metros. La sobrebasa se utiliza como apoyo ya sea como puntales, vigas, viguetas de piso o cercas.
- **El varillón:** Es el tramo por encima de los 16 metros. El varillón se usa como materia orgánica para el suelo, alfarda, diagonales de andamios y correas.
- **Las ramas apicales:** Es la parte superior del bambú con una longitud entre 1,20 a 2 metros. No tiene uso precisamente para la construcción, sin embargo es útil en la jardinería (Oblitas, 2018).

3.3.3 Ceniza de caña

Una mezcla que contenga entre 5 y 20 por ciento de ceniza supera las pruebas químicas y físicas que exige la norma **NMX-C179-1983** que rige en el país la construcción, por lo que esta mezcla es totalmente viable para ser usada (Lee, 1992). Las cenizas resultantes de la combustión del bagazo de caña, las cuales se obtienen como desecho en el proceso de generación de energía eléctrica en los centrales azucareros. Se muestra en el mismo que la composición fundamental del compuesto es de silicio al 80%, expresado como SiO_2 , mientras las fases

presentes son cristobalita, tridimita y silicatos de potasio y magnesio, compuestos químicos en lo que predomina el enlace iónico, típico de los materiales cerámicos, los cuales se caracterizan por su elevada dureza (A. Estrada, 2013).

Además se presenta la obtención por vía pulvimetalúrgica de un material compuesto de aluminio reforzado con las cenizas, se muestra en la tabla 1 que se produce un incremento en la dureza del material compuesto respecto al aluminio sin refuerzo, así como se compara además este resultado con otros materiales compuestos; las cenizas de bagazo, tiene cualidades potenciales como refuerzo de materiales (Smith, 1996).

Óxido	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	ZrO ₂
%	0.25	2.03	1.49	79.9	4.04	0.38	0.05	5.14	3.41	trazas
Óxido	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃
%	0.12	0.03	0.19	2.11	0.01	0.03	0.04	0.01	0.02	trazas

Tabla 1. Composición química de las cenizas de bagazo

Los resultados del análisis químico mediante DRX, se complementaron con la identificación de las fases presentes en el material bajo estudio, para ello se obtuvo el difractograma mediante DRX, mediante el cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 2 (J. F. Martiren A-Hernández., 2000).

ICDD	Nombre del compuesto	Fórmula Química	Observación
01-076-0940	Cristobalita	SiO ₂	Cristobalita
00-026-1076	Carbono	C	
00-044-1492	Silicato de Magnesio y Potasio	K ₂ MgSi ₅ O ₁₂	
01-083-1339	Tridimita	SiO ₂	Tridimita
01-070-0682	Fosfato de Calcio y Magnesio	Ca _{2.81} Mg _{0.19} (PO ₄) ₂	Posible

Tabla 2. Identificación de las fases en la ceniza por DRX

Con el empleo de la Microscopía electrónica de barrido (MEB) se llegaron a obtener las imágenes de las partículas de este material, ver la (figura 7).

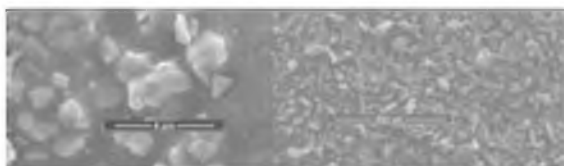


Figura 7: Imagen de las partículas de cenizas de bagazo obtenidas por MEB⁷

⁷ Imagen obtenida en: Lee, C.S., Kim, Y.H., Han K.S., Lim, T. Journal of Material Science 27, 1992, pp. 793-800

3.3.4 Silicato de Sodio

El silicato de sodio es un compuesto inorgánico que se produce a partir del dióxido de silicio (arenas de sílice) y el carbonato de sodio, para obtenerlo, se usan diferentes proporciones de estos compuestos y se fusionan en hornos a altas temperaturas, dando lugar a una variedad de silicatos de sódicos con diferentes propiedades físicas y químicas.

Los silicatos de sodio sólidos son rocas o cristales como se puede observar en la (figura 8). Debido a que son solubles en agua a estas sustancias también se les llama vidrio soluble, aunque para fabricar las soluciones de silicato de sodio se requiere de un proceso con determinadas condiciones de temperatura y presión. Las soluciones de silicatos de sodio en general son líquidos claros, no tóxicos y no presentan olor. Se fabrican soluciones con diferentes propiedades de densidad, viscosidad y pH, que pueden ayudar en diferentes procesos industriales. El silicato de sodio es un producto químico económico y puede usarse en un amplio rango de aplicaciones por sus propiedades:

- Inhibidor de la corrosión de los metales reacciona en presencia de ellos formando una barrera física que los protege.
- Propiedades adhesivas que ayuda a unir materiales porosos aumentando su resistencia.
- Aporta propiedades refractarias y regulador de PH.
- No es tóxico, se puede adicionar al cemento aportando resistencia a altas temperaturas y al ataque de ácidos (Sánchez A, 2018).



Figura 8: Silicato de Sodio⁸

3.3.5 Puzolana

La puzolana es un material inorgánico, natural o artificial, silicoso o alumino-silicoso en forma de roca como se observa en la (figura 9), que puede manifestar propiedades aglomerantes cuando se muele en presencia de agua e hidróxido de calcio.

Actualmente, diversos materiales puzolánicos, como ceniza volante, sílica activa, metacaolín y ceniza de cáscara de arroz (Andrea Arcos., 2006), son utilizados como sustitución parcial del cemento Portland en pastas, argamasas y concretos. El uso de puzolanas posibilita una reducción de problemas ambientales relacionados con el uso del cemento Portland en concreto los cuales son intensificadores del efecto invernadero sobre todo dióxido de carbono emitidos hacia la atmósfera (Cordeiro, 2009).

Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. Son por consiguiente, materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de utilización ordinaria de conglomerantes (morteros y hormigones). No se consideran como puzolanas aquellos otros materiales inertes que, en

⁸ Imagen obtenida en: <http://www.quimialmel.pt/en/sectors/sodium-silicate-solid-and-liquid/>

determinadas condiciones extraordinarias de estado físico de división (elevada finura, gran superficie específica) o de reacción (tratamientos hidrotérmicos con vapor de agua a presiones y temperaturas elevadas), pueden dar lugar a compuestos hidráulicos. Así sucede, por ejemplo, con el cuarzo, que finamente molido y mezclado con cal forma silicatos cálcicos hidratados por tratamiento en autoclave (S., Torres, 2007).

La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silíceos.

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio formado por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con objeto de incrementar su hidráulicidad.

Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, se pueden considerar como artificiales por causa del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales (J, Alejandro Salazar, 2018).



Figura 9: Puzolana Blanca⁹

⁹ Imagen obtenida en: <http://inferco.com/wp-content/uploads/2013/12/marmolina-blanca.jpg>

3.4 VIDRIO

3.4.1 Propiedades Mecánicas

El vidrio es una mezcla de diversas sustancias que se obtiene por fusión a unos 1500 °C de arena de sílice (SiO_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3) en diferentes proporciones, la que mayor se utiliza es la de arena de sílice como se muestra en la (figura 10).

Densidad: **2500 kg/m³**, un panel de 4 mm de espesor de vidrio pesa 10kg/m²

Dureza: **470 HK** la dureza del vidrio flotado se establece conforme a Knoop. La base es el método de ensayo dado en la norma DIN 52333 (ISO 9385).

Resistencia a la compresión: **800 - 1000 MPa**.

La resistencia a la compresión define la capacidad de un material para soportar una carga aplicada verticalmente a su superficie.

Módulo de elasticidad: **70 000 MPa** el módulo de elasticidad se determina a partir del alargamiento elástico de una barra fina, o bien doblando una barra con una sección transversal redonda o rectangular.

Resistencia a la flexión: **45 MPa** la resistencia a la flexión de un material, es una medida que valora su resistencia durante la deformación. Se determina por ensayos de flexión en la placa de vidrio, utilizando el método del anillo doble, de acuerdo a la norma EN 1288-5.

3.4.2 Propiedades Térmicas

Rango de transformación 520 - 550°C

Contrariamente a los cuerpos sólidos de estructura cristalina, el vidrio no tiene punto de fusión definido. Se transforma continuamente desde el estado sólido al estado plástico viscoso. El rango de transición se denomina rango de transformación y de acuerdo con DIN 52324 (ISO 7884), se encuentra entre 520 °C y 550 °C. El templado y el curvado, requieren una temperatura suplementaria de más de 100 °C.

Calor específico: **0.8 J/g/K**. El calor específico (en Julios) define la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 g de vidrio flotado en 1K. El calor específico del vidrio aumenta ligeramente la temperatura, que va aumentando hasta el intervalo de transformación.

Conductividad térmica: **0.8W/mK**, la cantidad de calor requerida para fluir a través del área de sección transversal de la muestra de vidrio flotado en el tiempo en que disminuye la temperatura.

Expansión termal: **9.10^{-6} K^{-1}** . Encontramos un comportamiento diferente en la expansión del cuerpo bajo efecto de calor, en caso de expansión lineal y expansión volumétrica. Con los cuerpos sólidos, la expansión volumétrica es tres veces la de la expansión lineal. El coeficiente de temperatura de expansión del vidrio flotado se administra de acuerdo a DIN 52328 e ISO 7991.

3.4.3 Propiedades Ópticas

El vidrio tiene varios puntos fuertes en cuanto a sus propiedades ópticas:

- Puede ser producido en paneles grandes y homogéneos.
- Sus propiedades ópticas no se ven afectadas con el paso del tiempo.
- Esta producido con superficies perfectamente planas y paralelas.

Índice de refracción: $n = 1.52$. Si la luz de un medio ópticamente menos denso (aire) se encuentra con un medio ópticamente más denso (vidrio), entonces el rayo de luz se divide en las interfaces de superficie. La medida de la desviación determina el índice de refracción. Para el vidrio flotado, este índice de refracción es $n = 1,52$.

3.4.4 Propiedades Técnicas

La superficie de vidrio se ve afectada si se expone durante mucho tiempo a los álcalis (y a los gases de amoníaco) en combinación con altas temperaturas. El vidrio flotado también reacciona a los compuestos que contienen ácido fluorhídrico

en condiciones normales. Estos se utilizan para el tratamiento de superficies de vidrio.

Ensayos de abrasión (DIN 52347 e ISO 3537) Se evalúa la dispersión de la luz que impacta directamente la superficie.

Proceso de goteo de arena (DIN 52348 e ISO 7991). Para esta prueba la abrasión por impacto diagonal, se hicieron gotear 3 kg de arena con un tamaño de partícula 0,5/0,71mm sobre la superficie a ensayar, con una inclinación de 45 y, desde una altura de 1600 mm. La medición del desgaste es la densidad luminosa reducida (según la norma DIN 4646 parte 2) (R., Bautista, 2018).



Figura 10: Vidrio templado¹⁰

3.5 CEMENTO BLANCO

3.5.1 Generalidades

El cemento blanco es una variedad de cemento portland que se fabrica a partir de materias primas cuidadosamente seleccionadas de modo que prácticamente no contengan hierro, manganeso ni cromo, u otros materiales que le den color.

El descubrimiento de su producción fue hecho a mediados del siglo veinte por los laboratorios de la empresa cementera y de materiales de construcción Lafarge en Francia. Sus ingredientes básicos son la piedra caliza, base de todos los cementos,

¹⁰ Imagen obtenida en: <http://www.aramar.com/wp-content/uploads/2016/12/vidrio-aramar-calculo-peso2.jpg>

el caolín (una arcilla blanca que no tiene ningún óxido de hierro, pero sí mucha alúmina) y yeso. Esta diversa composición, sin embargo, no trajo ningún cambio en las características intrínsecas de este cemento, que continuó proporcionando las mismas capacidades de resistencia que un cemento gris.

Su color “blanco” se consigue por medio de un proceso de elaboración química. En dicho proceso, una selección severa de las materias primas y un método de producción tecnológicamente avanzado salvaguardan la blancura inicial de la caliza en el producto final: el cemento blanco.

El bajo contenido de álcalis en su composición química, le permite la utilización de agregados tales como el vidrio volcánico, y algunas rocas que normalmente reaccionan con los álcalis del cemento, y que traen consigo agrietamientos que desmerecen la apariencia y durabilidad del concreto; sus partículas, de menor tamaño que las de cemento gris, le otorgan una mejor capacidad de hidratación y propiedades específicas como menor tiempo de fraguado y una elevada resistencia a la compresión.

El cemento blanco es un producto que difiere notablemente del cemento gris, en los aspectos relacionados con sus costos de elaboración (mucho más altos que los del cemento gris tradicional), y el mercado al cual está dirigido. Así las cosas, por su precio, características, y usos los cementos blanco no resultan sustitutos de los cementos grises.

3.5.2 Caliza

La caliza es el principal constituyente del cemento blanco (75 – 85%), es un tipo común de roca blanca sedimentaria, de gran pureza química (98%), compuesta principalmente por calcita (CaCO_3) (90%) y dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$). Cuando se calcina, da lugar a la cal (óxido de calcio, CaO). Otros componentes presentes en su composición son el óxido de hierro, fósiles y otros minerales.

Estos componentes son necesarios para la formación del clínquer en las etapas posteriores. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente. Sus principales derivados son la cal, el carbonato de calcio y el cemento (Guerrero, 2001).

3.5.3 Caolín

Caolín (del chino, kaoling, 'cresta alta'), o arcilla china, es un tipo de arcilla muy pura (presenta un bajo contenido de hierro), blanca de plasticidad variable, pero en general baja, que retiene su color blanco durante la cocción. Constituye el segundo componente en importancia en el crudo de cemento blanco (10 – 25 %) y aporta a éste la sílice necesaria. Su principal constituyente es el mineral caolinita, un silicato de aluminio hidratado, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, formado por la descomposición de otros silicatos de aluminio, en especial feldespato, esta descomposición se debe a los efectos prolongados de la erosión. En la actualidad se extrae sobre todo en Malasia y en Cornualles (Inglaterra) (Murray, 1991).

3.5.4 Yeso

El yeso es un mineral común, consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Es un tipo ampliamente distribuido de roca sedimentaria, formado por la precipitación de sulfato de calcio en el agua del mar y está asociado con frecuencia a otras formas de depósitos salinos, como la halita y la anhidrita, así como piedra caliza y a esquisto. El yeso se origina en zonas volcánicas por la acción de ácido sulfúrico sobre minerales con contenido en calcio; también se encuentra en muchas arcillas como un producto de la reacción de la caliza con ácido sulfúrico. El yeso utilizado en la fabricación del cemento blanco necesita ser muy puro, con valores que oscilen entre un (80 y 90%) de grado de pureza.

La principal función que cumple con su adición al crudo es regular la hidratación y el fraguado del cemento, mediante una reacción con el aluminato tricálcico. Al formar el sulfoaluminato tricálcico, la mezcla se va hidratando poco a poco y además acelera la hidratación del silicato tricálcico (T., Rosales, 2006).

3.5.5 Componentes Químicos

Los compuestos que formarán la composición química del clinker de cemento blanco proceden de la materia prima utilizada para formar el “crudo” fundamentalmente calizas y arcillas (caolín), que aportarán una serie de óxidos de cal, sílice, aluminio y otros que se muestran en la tabla 3. Como consecuencia de las altas temperaturas que se generan en el horno, entre estos óxidos se producirán una serie de reacciones que darán lugar a la formación de compuestos complejos que tendrán una estructura más o menos cristalina o amorfa, dependiendo de la velocidad de enfriamiento del clinker resultante. La composición química del clinker del cemento blanco depende, pues, no sólo de las materias primas empleadas en su fabricación, sino también de su dosificación (proporción en que intervengan cada uno de los óxidos que aporta la materia prima) y de los procesos de cocción y de enfriamiento. Se debe realizar el análisis químico de la materia prima y obtener los porcentajes en masa de los óxidos y otros compuestos que contienen, para poder dosificar adecuadamente el crudo. En la composición química del clinker de cemento blanco intervienen muchas sustancias; la mayor parte de ellas contienen tres o más elementos combinados, por lo que las fórmulas a que dan lugar son bastante extensas. Por ello, para estudiar y analizar su composición se realizan las siguientes simplificaciones: por una parte, como la mayoría de estos elementos combinan con el oxígeno, se consideran los compuestos formados por óxidos, lo cual describe correctamente su composición química, aunque no contempla su composición estructural; sin embargo es el medio más común para representar una composición.

Por otra parte, designando estos compuestos, no por su composición química, sino por su símbolo (Navarrete, 2006).

Tipo de cemento	Componentes químicos principales (%.)							Componentes mineralógicos principales (%.)				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	P.F	Na ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Blanco	66	22,5	4,5	0,4	2,8	1,0	1,7	0,17	60	19	11	1
Gris	64	20,5	5,4	2,6	3	2,1	1,4	1,4	54	18	10	8

Tabla 3. Composición Química del Clinker Blanco y Gris de Cemento de Portland

3.6 ÓXIDO DE TITANIO

Óxido de titanio es un compuesto químico cuya fórmula es TiO₂. Entre otras cosas, es utilizado en procesos de oxidación avanzada fotocatalizada.

Es una de las sustancias más blancas que existen y se presenta estructuralmente en la naturaleza como: Rutilo (estructura tetragonal), Anatasa (estructura tetragonal) y Brookita (estructura ortorrómbica).

El dióxido de titanio se utiliza mucho como un pigmento blanco en pinturas exteriores por ser químicamente inerte, por su gran poder de recubrimiento, su opacidad al daño por la luz UV y su capacidad de auto limpieza. El dióxido también se ha empleado como agente blanqueador y opacador en esmaltes de porcelana, dando un acabado final de gran brillo, dureza y resistencia al ácido.

Las aplicaciones del óxido de titanio son múltiples, pero la principal es ser pigmento para pinturas, plásticos, tintas de impresión, cosméticos, productos textiles y alimentarios debido a sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad que lo convierte en un pigmento inorgánico con gran importancia mundial. También es utilizado como catalizador y en la elaboración de cerámicos.

- Refleja casi toda la radiación visible y mantiene su color.
- Tiene un alto índice de refracción (2.4 como la del diamante).
- Es un fotocatalizador muy eficaz acelerando las reacciones químicas provocadas por la radiación luminosa.
- Es un semiconductor sensible a la luz, absorbe radiación electromagnética

cerca de la región UV.

- Se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidroclicóric (Esteban F., 2018).

3.7 ÓXIDO DE CALCIO

3.7.1 Características del Óxido de Calcio

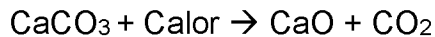
Es un producto químico natural que se obtiene de la roca caliza, cuando es sometida a altas temperaturas (más de 1000°C) hasta obtener Cal Viva; en esa fase tiene lugar la transformación del Calcio: de Carbonato a Óxido –por desprendimiento del dióxido de Carbono (CO₂), contenido en la piedra.

Al agregar agua o humedad a la cal (apagar la cal), el material se hidrata y se denomina hidróxido de calcio; parte del agua se libera a la atmósfera como vapor ya que en este momento se origina una reacción de calor (exotérmico) no contaminante.



3.7.2 Cal Viva

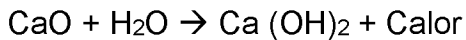
Es el resultado de la calcinación del carbonato de calcio (CaCO₃) a más de 1000°C, ya que éste se descompone dando dióxido de carbono y óxido de calcio o cal viva.



3.7.3 Cal hidratada

Es el nombre comercial del hidróxido de calcio, que se forma al agregarse agua al óxido de calcio o cal viva para que una vez apagada (hidratada) pueda utilizarse. Los albañiles, cuando vierten agua sobre cal viva, dicen que la “apagan”.

Cal apagada es el nombre vulgar del hidróxido de calcio. El apagado exotérmico; es decir, que en este proceso se desprende gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada. La cal “apagada” tiene un volumen tres veces mayor que el de la cal viva.



3.7.4 Cal Aérea

Denominadas así porque endurecen al aire mediante su reacción con el anhídrido carbónico del mismo u otra fuente de CO_2 (dióxido de carbono). Éstas se clasifican a su vez en:

- **Cal dolomítica**

Se la denomina también cal gris o cal magra. El producto obtenido en la calcinación depende de la composición química de las calizas, por lo que ésta se denomina así por su origen, es decir, por ser el resultado de la calcinación de rocas calizas que contienen dolomita, de donde surge el óxido de calcio y de magnesio, que también es un óxido básico, pero no es recomendable para construcción porque se apaga muy lentamente con agua; en cambio, se usa con éxito en la industria azucarera.

- **Cal cálcica o grasa**

Es una cal muy pura o con muy escaso contenido de arcillas y es muy eficiente en la preparación de las mezclas aéreas. Son llamadas así debido a que la acción cementante se logra por carbonatación de la cal mediante el CO_2 (dióxido de carbono) atmosférico.

Las cuales grasas fabricadas con piedras calizas de gran pureza contienen 95% o más de óxido de calcio. Cuando se apagan dan una pasta blanca, untuosa y fuertemente adhesiva, contrariamente a las cuales magras, que tienen porcentajes de óxido de calcio comprendidos entre el 80 y el 90%.

3.7.5 Cal Hidráulica

Son llamadas así porque fraguan y endurecen con el agua. Contienen entre un 10 y 20% de arcillas y en ellas el efecto cementante se logra tanto por medio de la carbonatación de la cal, como por el proceso de hidratación de los silicatos y aluminatos formados por reacción a bajas temperaturas entre la caliza y la arcilla presente (Vera, 2013).

3.8 SÍLICE

El cuarzo SiO_2 es el principal constituyente de las arenas de sílice y procede de rocas ricas en sílice, tanto intrusivas como extrusivas y de sedimentarias como las areniscas. Es por causa de su estabilidad química y física el mineral detrítico más abundante, y entre todos los minerales casi el único que constituye un compuesto químico puro, ya que su composición suele ser 100% de SiO_2 (46.7% de Si y 53.3% de O_2).

Aparece con frecuencia como mineral de ganga en los yacimientos metalíferos. El cuarzo presenta impurezas aún en los cristales más perfectos, como Li, Na, K, Al, Fe, Mn, Ti, Ca y Mg, con frecuencia inclusiones de rutilo, hematita, clorita y mica.

El cuarzo o bióxido de silicio SiO_2 cristaliza en el sistema trigonal. Se presenta en cristales prismáticos terminados generalmente en una combinación de romboedros positivos y negativos que en ciertas ocasiones tienen idéntico desarrollo y producen el efecto de una bipirámide hexagonal.

Tiene una dureza de 7 en escala de Mohs; peso específico de 2.65; índice de refracción de 1.548, carece de exfoliación evidente; tiene propiedades piroeléctricas y piezoeléctricas.

El color del cuarzo varía de incoloro a blanco lechoso, amarillo, morado y gris. Las variedades transparentes o traslúcidas microcristalinas tienen nombres especiales como: variedad cristalina, cristal de roca, cuarzo rutilado, ojo de gato, venturina, cuarzo ferrífero, citrino, cuarzo ahumado, amatista y cuarzo rosa. Sólido incoloro, en estado puro. La arena sílica no en todos los casos se utiliza como agregado único. En muchas ramas industriales se utiliza como aglutinado con sustancias generalmente arcillosas; la elaboración de ladrillo refractario y piezas de moldeo constituyen dos ejemplos de su utilización. En este aspecto, la pasta es capaz de soportar unos cuantos grados de fusión de cono pirométrico a la temperatura de 1,710° a 1,730°C, y que puede utilizarse en condiciones de seguridad en estructuras hasta los 1,650° C (3,002° F) (federal, 2011).

3.9 PROPIEDADES INTELIGENTES DE LOS MATERIALES

Los materiales inteligentes, activos, o también denominados multifuncionales son materiales capaces de responder de modo reversible y controlable ante diferentes estímulos físicos o químicos externos, modificando algunas de sus propiedades.

Se manifiestan en diferentes naturalezas, inorgánicas, metálicas y orgánicas, su comportamiento es muy diverso siendo sensible a una variedad de estímulos sobre el material (Katime, 2004).

En la ingeniería de materiales un compuesto son aquellos materiales que se forman por la unión de dos materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener de los materiales originales. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a la alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

En la tesis que se elaboró se aplicaron las características de los materiales conjuntándolas en un compuesto rígido de forma reticulada con color blanco y textura semi – granulada donde la mayoría de propiedades inteligente se activan con una reacción química y las físicas no se consideran inteligentes pero si se clasifico como atributos por construcción y estructura interna, (ver figura 11).

SE UTILIZARÓN LAS MATERIAS A FORMA DE GENERAR UN COMPUESTO ECOLÓGICO INTELIGENTE DEBIDO A REACCIONES QUIMICAS Y DE FORMACIÓN POR ESTRUCTURA



Figura 11: Propiedades inteligentes¹¹

3.10 DIFRACCIÓN DE RAYOS-X

Los R-X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz pero de longitud de onda mucho más corta. La unidad de medida en la región de los R-X es el Angstrom (Å), igual a 10^{-10} m y los rayos x usados en difracción tienen longitudes de onda en el rango 0.5-2.5 Å mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å. El espectro continuo de los rayos X se produce cuando una partícula cargada eléctricamente con suficiente energía cinética es frenada rápidamente. Los electrones son las partículas utilizadas habitualmente y la radiación se obtiene en un dispositivo conocido como tubo de rayos x.

¹¹ Imagen obtenida en: fuente propia

Los rayos x emitidos consisten en una mezcla de diferentes longitudes de onda y la variación de intensidad con λ depende del voltaje del tubo, con los datos obtenidos se puede formar una imagen que muestra el tipo de curvas obtenidas. La intensidad es cero hasta cierta longitud de onda, llamada λ_{lim} , aumenta rápidamente hasta un máximo y entonces decrece sin un límite abrupto en la parte de larga.

Longitud de onda. Esta radiación se denomina radiación continua o blanca, pues está formada igual que ocurre con la luz blanca por muchas longitudes de onda. El espectro característico. Cuando el voltaje de un tubo de r-x supera cierto valor crítico, aparecen picos estrechos y agudos a ciertas longitudes de onda superpuestos sobre el espectro continuo. Dado que son picos estrechos y que la longitud de onda depende del metal usado como blanco se denominan líneas características. Estas líneas se agrupan en conjuntos denominados K, L, M, etc; en orden de λ creciente y todas juntas forman el espectro característico del metal usado como blanco. Normalmente únicamente las líneas K son útiles en difracción, las de λ más larga son absorbidas con demasiada facilidad. Hay varias líneas en el conjunto K, pero sólo las tres más intensas se observan en el trabajo de difracción habitual: son $K\alpha_1$, $K\alpha_2$ y $K\beta_1$; para Mo las λ son aproximadamente: $K\alpha_1$: 0.709 Å $K\alpha_2$: 0.71 Å $K\beta_1$: 0.632 Å Las líneas de r-x características fueron sistematizadas por Moseley, éste encontró que la longitud de onda de una línea particular descendía conforme el nº atómico del emisor aumentaba. En concreto, encontró una relación lineal entre la raíz cuadrada de la frecuencia y el nº atómico Z: $\sqrt{\nu} = C(Z - \sigma)$ donde C y σ son ctes. Mientras que el espectro continuo tiene su origen en la deceleración de los electrones que inciden sobre el blanco de un tubo de r-x, el origen del espectro característico está en los átomos mismos del blanco. Para comprender este fenómeno es suficiente considerar un átomo como un núcleo central rodeado por electrones formando capas donde los términos K,L,M... corresponden al nº cuántico principal $n=1,2,3,\dots$. Si uno de los electrones que bombardean el blanco posee suficiente energía cinética puede arrancar un electrón de la capa K dejando el átomo en un estado excitado de alta energía. Uno de los electrones en niveles superiores cae inmediatamente en la vacante generada

emitiendo energía en el proceso; la energía emitida tiene una λ definida, es de hecho radiación K (OneState, 2013).

3.11 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Los espectrómetros infrarrojos son una de las herramientas más importantes para observar espectros vibracionales. Las características más relevantes son:

- Si dos moléculas están constituidas por átomos distintos, o tienen distinta distribución isotópica, o configuración, o se encuentran en ambientes distintos, los espectros infrarrojos serán distintos.
- Una sustancia definida puede identificarse por su espectro infrarrojo. Estos espectros pueden ser considerados como las huellas digitales de dicha sustancia.
- Una sustancia definida puede identificarse por su espectro infrarrojo. Estos espectros pueden ser considerados como las huellas digitales de dicha sustancia.
- A partir de los espectros se pueden inferir las estructuras moleculares. Para ello se requiere un modelo en el cual basar los cálculos.
- Las intensidades en las bandas del espectro de una mezcla, son generalmente proporcionales a las concentraciones de las componentes individuales. Por lo tanto, es posible determinar la concentración de una sustancia y realizar análisis de muestras con varias componentes.
- Es posible, mediante el uso de dispositivos experimentales adecuados, obtener espectros infrarrojos sin alteración de la muestra, lo que constituye a esta espectroscopia como una herramienta de análisis no destructiva.
- El tiempo necesario para obtener y almacenar un espectro infrarrojo es del orden de minutos.

Existen dos tipos de espectrómetros infrarrojos, los dispersivos y los de transformada de Fourier. Un espectrómetro por transformada de Fourier consta de tres elementos básicos: una fuente luminosa, un interferómetro de Michelson y un detector (Lewis A., 2005).

Su funcionamiento es el siguiente: un haz colimado, proveniente de una fuente que emite en toda la región infrarroja, incide sobre un divisor de haz 3. El haz incidente se divide en dos haces perpendiculares de igual energía, uno de los cuales incide sobre el espejo móvil y el otro sobre el espejo fijo. Los haces son reflejados por ambos espejos y se recombinan al llegar al divisor de haz. Esto da lugar a una interferencia, la cual puede ser constructiva o destructiva dependiendo de la posición relativa del espejo móvil con respecto del espejo fijo. El haz resultante pasa a través de la muestra, en donde sucede una absorción selectiva de longitudes de onda y, finalmente, llega al detector (Raúl Gómez ., 2010).

3.12 RESISTIVIMETRO

La resistencia de un conductor es independiente de la corriente y del voltaje. El comportamiento físico de las rocas depende de su contenido de agua y modo de agregación de sus minerales, forma, volumen, porosidad, temperatura y presión.

La Resistividad es una medida de la dificultad de la corriente eléctrica a su paso en un material determinado

Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada.

El método de Resistividad considera un cuerpo semi-infinito con una resistividad uniforme, en donde se colocan cuatro electrodos, dos de corriente y dos de

potencial. El gradiente de potencial es medido por un voltímetro o potenciómetro.

Resistivímetro: Se encarga de ejecutar de forma automática toda la secuencia de medidas predeterminada, verifica el buen estado de las conexiones, almacena digitalmente todos los valores de resistividad el cual se muestra en la (figura 12) (Anaya, 2010).



Figura 12: Resistivímetro¹²

3.13 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN MATERIALES

La determinación de las propiedades termo físicas de materiales es importante en todos los procesos donde ocurren intercambios de energía, en particular de calor. Para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas y equipos mecánicos es importante conocer el valor de estas propiedades en particular la conductividad térmica. Para materiales sólidos conductores térmicos como es el aluminio, hierro, cobre, sus aleaciones y nuevos materiales que se emplean para construir equipos, por ejemplo, los motores de vehículos automotrices. Para cubrir esta necesidad de medición en el Centro Nacional de Metrología se desarrolló un sistema para la medición de materiales sólidos conductores térmicos por medio de un método secundario. En este artículo se presenta el diseño y construcción del sistema de medición. Actualmente se encuentra en desarrollo la extensión del sistema para medir la conductividad térmica de materiales sólidos conductores a temperaturas cercanas a los 500 °C.

¹² Imagen obtenida en: <http://afontasrl.com/wp-content/uploads/2017/08/resipod3.jpg>

El método consiste en determinar la conductividad térmica de un material muestra por medio de un material de referencia por una técnica de estado permanente que se conoce como método de barras concéntricas cortadas.

El sistema está formado por una barra de un material de referencia con propiedades bien conocidas, la barra del material con conductividad a determinar y otra barra de material de referencia.

La barra metálica compuesta se encuentra en su exterior cubierta con un material aislante.

En un extremo de la barra compuesta se coloca una fuente de calor y en el extremo opuesto se tiene un sumidero de calor. Entonces, mediante mediciones de temperatura y longitud se puede determinar la conductividad del material muestra compuesta (L. Lira-Cortés, 2008).

3.14 HORNO DE MUFLA

Es un horno que llega a temperaturas de 0 a 1000°C que sirve para procesos de incineración, secado, disgregación, recocido, tratamientos térmicos, llega a consumir 2500W a 3000W con un panel programable, ver la (figura 13).

Recinto interior compuesto por placas de refractario ligero de alta calidad, de gran contenido en alúmina y exentas de amianto y óxido de hierro. Elementos calefactores distribuidos uniformemente con hilo especial de elevado punto de fusión y recocido por alta frecuencia asegurando una duración excepcionalmente larga. Excelente aislamiento térmico de Fibro-cerámica de baja densidad y conductividad térmica. Consumo reducido a máximo rendimiento. Rápida recuperación de la temperatura al abrir y cerrar la puerta. Puerta abatible y elementos fácilmente intercambiables (Owata, 2015).



Figura 13: Mufla eléctrica¹³

3.15 ENSAYO EN PRENSA HIDRÁULICA

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”.

Para estimar la resistencia del concreto, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”.

¹³ Imagen obtenida en:

https://www.google.com.mx/search?q=mufila+pdf&dcr=0&source=inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiMzZaYacnXAhUL7WMKHchtDmkQ_AUICiaB&biw=1270&bih=549#imarc=k2bMiiKTDRlhZM:

Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensaye a la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días estas se realizan en una prensa hidráulica como se observa en la (figura 14).



Figura 14: Prensa de Concreto¹⁴

¹⁴ Imagen obtenida en: http://www.elvec.com.mx/pages/imagenes/s_E-654.gif

Capítulo 4

METODOLOGÍA Y PREPARACIÓN DE MATERIAS

4.1 METODOLOGÍA – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La metodología y técnicas que se utilizó son una adaptación de la metodología establecida por Ambrose-Harris en su libro metodología del diseño, ver (figura 15). Básicamente el problema es la contaminación ambiental que los plafones normales o genéricos generan ya que estos están desde su origen contaminan propiciando la producción de bióxido de carbono junto con sus residuos que se van a la atmósfera obteniéndose un daño medio ambiental considerable. Al igual el uso de materias primas no renovables o mal adecuadas, en la actualidad en el mercado son pocas empresas que se dediquen a la fabricación de plafones cien por ciento ecológicos, es por eso que se busca implementar un nuevo material con materiales reciclados naturales y materias primas de fácil reposición.



Figura 15: Libro de Ambrose – Harris ¹⁵

¹⁵ Imagen obtenida en: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71kc1x7QIIL.jpg>

4.2 METODOLOGÍA – INVESTIGACIÓN

La investigación se extrajo de libros, documentos y/o artículos relacionados con el tema; así como también de prácticas realizadas en los centros de investigación, algunas fuentes se extrajeron en línea, ya que el tema es muy poco abordado y no se cuentan con referencias bibliográficas de libros, así se tomó esta opción.

La información que formula una solución viable con los materiales que consideraron adecuados en base a la investigación se encuentra en el apartado de antecedentes, es el punto de partida del porqué de la tesis.

Se han evaluado las emisiones contaminantes de materiales de construcción de edificios, específicamente de materiales que se instalan en su interior y que originan problemas de salud a corto, mediano y largo plazo a los usuarios debido a las sustancias químicas que emiten. Se presenta un caso de estudio experimental en donde se evalúan los tableros de yeso que normalmente son instalados dentro de los edificios para muros divisorios y falsos plafones, también se investigó sobre el uso de materiales basados en polímeros no biodegradables con lo cual están hechos la mayoría de los plafones, se parte de la base experimental de un espacio en el interior, en un local o cuarto con dimensiones mínimas preestablecidas que se pudieran presentar en diversos tipos de edificios. Se decidió utilizar una metodología basada en la comparación entre materiales tradicionales y alternativos (con contenido reciclado) de distinto contenido y características muy similares que pudieran arrojar resultados distintos de acuerdo con los métodos de prueba, condiciones físicas del ambiente y del equipo e instrumentos usados. se llegó a la conclusión de que estos materiales antes mencionados proliferan el malestar del usuario del espacio, es por eso de la necesidad de innovar sobre los plafones más saludables.

4.3 METODOLOGÍA – IDEACIÓN

Se creó un compuesto de tipo mezcla el cual tendrá múltiples características que lo hagan un material inteligente, lo primero que se trató de idear es llegar a conseguir un material resistente a la flexión y compresión dado el uso que ejerce en un espacio arquitectónico, este cargara cables, mangueras y ductos, es por eso que la combinación interna de la estructura debe de estar distribuida para tener cargas homogéneamente repartidas, esto se logró mediante el uso del bambú lo cual le permitirá fuerza y ligereza.

La puzolana y el óxido de calcio le ayudo a tener cuerpo, esta mezcla ayudo a conjuntar los demás agregados logrando una mejor expansión interna del compuesto, en conjunto con la ceniza de caña provocar una reacción química cuando el agua lo cual lo haga autorreparable. Se pretende que el material sea antibacterial para esto se recubrirá la mezcla con Oxido de Titanio el cual al contacto con la luz eliminara hongos y bacterias que pudieran generarse en un ambiente húmedo, aparte de esto se pretende que el aditivo lograra dar una refracción más distribuido que ayuda a iluminar una superficie de mejor forma.

Por último, el vidrio ayudo a darle una mejora estética y óptica al acabado este servirá como aglomerante en la mezcla junto con su propiedad de reflexión se pudo hacer un material que ayude a ahorrar energía eléctrica.



Figura 16: Materiales del Compuesto¹⁶

¹⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

4.4 PREPARACIÓN DE MATERIAS – VIDRIO

En la fase de preparación de materias, se recolecto vidrio transparente de 7 mm de espesor junto con la recolección de botellas de vidrio ámbar como se ve en la (figura 17), esto con el fin de preparar dos materias con diferentes resistencias físicas ya que el vidrio transparente se funde 1200°C a 1500°C y el vidrio ámbar funde entre 1000°C y 1250° C, esta propiedad le dará dureza y reflexión de luz al plafón.

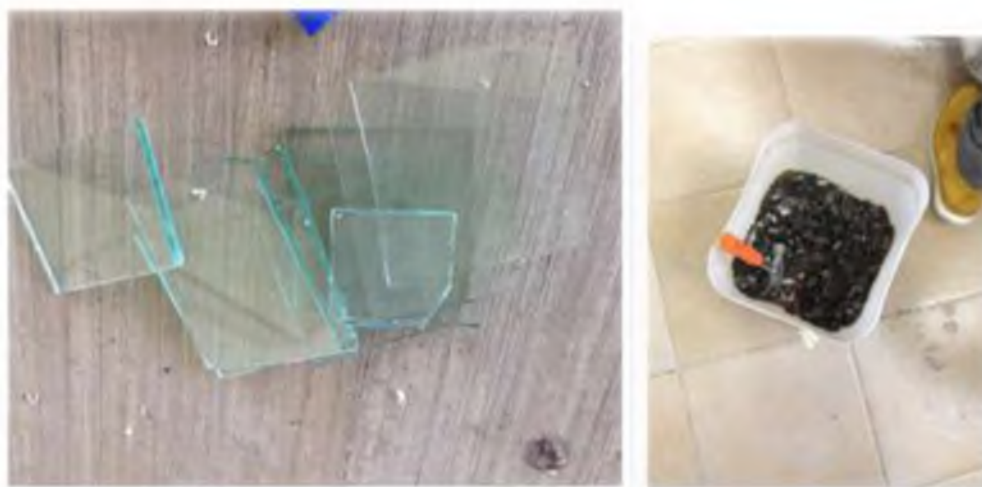


Figura 17: Vidrio Transparente y Ámbar¹⁷

Después de la recolección del vidrio se tomarón las medidas de seguridad adecuadas, se colocó careta y cubre bocas en la cara, se cubrió el cuerpo con una bata, pantalón de mezclilla junto con guantes y botas de seguridad esto fue así para todos los trabajos tanto en el taller como en el laboratorio de experimentación.

Se trituró en un paño de tela para poder reducir el dispersamiento del material y el desperdicio del mismo, (ver figura 18), para luego meterlo dentro de un bote para un triturado más uniforme.

¹⁷ Imagen obtenida en: fuente propia

Esto con el fin de que el grano que se genere al triturar pueda tener menos de 3 cm de largo lo cual permite poder introducirlo en las jarras de moliendo.



Figura 18: Vidrio Triturado¹⁸

La preparación de las jarras de porcelana se compone de 25% de medio de molienda de $\frac{1}{4}$ de pulgada, 25 % de medio de molienda de $\frac{1}{2}$ de pulgada y de 50% de vidrio triturado, los vidrios ámbar y transparente se colocaron por separado en las jarras como se observa en la (figura 19).



Figura 19: Jarra de porcelana y medios de molienda de alúmina¹⁹

¹⁸ Imagen obtenida en: fuente propia

¹⁹ Imagen obtenida en: fuente propia

Las jarras con vidrio transparente se pusieron en el molino como se muestra en la (figura 20) a 60 rpm durante 7 horas, las jarras con vidrio ámbar se pusieron en el molino a 80 rpm durante 8 horas en estas se recolectan por molienda un aproximado de 400 a 500 g de material de diferentes tamaños de grano.



Figura 20: Molino de jarras²⁰

Por último cuando se acabó de moler se pasó el material por los tamices, ver (figura 20) de tamaño de malla 6.15, 4.45, 2.1, 1.8, 1.1, 0.80, 0.65 es último grano fue el que se ocupó para las pruebas preliminares cada vidrio se guardó aparte.



Figura 21: Tamiz (separación de granos)²¹

²⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

²¹ Imagen obtenida en: fuente propia

4.5 PREPARACIÓN DE MATERIAS – BAMBÚ

La primera fase fue la selección del material, para la tesis y con el fin de contribuir al aprovechamiento de los recursos secundarios de la región se ocupó el bambú de la especie *Guadua angustifolia* la cual crece endémicamente en la región del Papaloapan y Veracruz, es un bambú de fácil reposición.

Después de seleccionar el tipo de bambú a ocupar se consiguió bambú seco a un 100% con el cual se empezó a cortar en piezas pequeñas para su manejo en las pruebas, como se ve en la figura 22.



Figura 22: Corte de Bambú²²

Las maderas se cortaron en láminas de 2.5 cm de ancho y largo de 5 cm ya que las dimensiones del molde es de 5 x 5 x 5 cm, también se cortó en láminas de 1.5 x 5 cm, se cortó en virutas y en aserrín esto para ver qué materia tiene mayor adherencia al compuesto (ver figura 23).



Figura 23: Bambú diferentes medidas²³

²² Imagen obtenida en: fuente propia

²³ Imagen obtenida en: fuente propia

4.6 PREPARACIÓN DE MATERIAS – CENIZA DE CAÑA

La ceniza de caña se le dio un tratamiento térmico (ver figura 24), ya que en la investigación sobre la ceniza de caña está demostrado que al elevar la temperatura de la ceniza de caña se pueden llegar al estado de cuarzo alfa que es una fase que indica dureza y sílice más pura, por eso a la ceniza se sometió a diferentes temperaturas para ver sus características físicas y químicas dentro de una mufla sobre un recipiente de porcelana y alúmina.



Figura 24: Tratamiento térmico a la ceniza de caña²⁴

Los resultados obtenidos después del tratamiento térmico a diferentes temperaturas por diferencia de tiempo fueron muy notables en las 3 pruebas.

- a) A 800° C durante 2.5 horas – color café oscuro
- b) A 900° C durante 6 horas – color canela (ver figura 25).
- c) A 900° C durante 8 horas – color canela

En donde se determinó que la opción b) fue la más adecuada ya que se probó en los bloques de prueba que la opción a) y c) tenían los mismos resultados, gastaba más tiempo y el color de la opción a), la opción se estableció tomando en cuenta los diagramas de fase del sílice (Swamy, 1994.), sigue siendo negro, además que solo se quedan en la fase cuarzo alfa debido a la temperatura ocupada.

²⁴ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 25: Ceniza de Caña tratada a 900° C²⁵

4.7 PREPARACIÓN DE MATERIAS – MOLDES

Lo último que quedo por preparar fueron los moldes de acero los cuales ya están formados con las medidas de un cubo de 5 cm el cual se tiene que lavar para que no copie imperfecciones en las muestras esto a causa de sarro, además hay que engrasar con aceite para un desmolde sin amarres, se dejan listos para el vaciado de la mezcla del compuesto, ver figura 26.



Figura 26: Limpieza de moldes ²⁶

²⁵ Imagen obtenida en: fuente propia

²⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

Capítulo 5

EXPERIMENTACIÓN DEL COMPUESTO

5.1 RELACIONES DEL COMPUESTO

La experimentación se llevó a cabo, consistió en la preparación de las materias ya conseguidas mezclando diversos materiales en diferentes proporciones hasta alcanzar una mezcla compuesta que cumpla con un porcentaje de funcionalidad en espacios arquitectónicos (ver figura 27). A continuación, se describe el proceso experimental que se llevó a cabo, la mezcla es proporcional a la cantidad de agua.

Figura 27: Relación del compuesto²⁷



La primera relación del compuesto se enfocó en cómo usar el bambú ya que este material le dará resistencia a la flexión y la compresión, se estableció que era necesario probar diferentes dimensiones del bambú como se explica en la figura 28.

²⁷ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 28: Relación del Bambú con la mezcla²⁸

Después de establecer como se ocupó el bambú, tanto en camas aglomeradas entre cruzadas para una mayor resistencia, también no dejando atrás a la viruta y al aserrín el cual se metió en los moldes comprimiéndolo.

Con las siguientes figuras 30-36 se muestran las distintas relaciones ocupadas en las pruebas principales ya que se colocaron las pruebas que destacaron entre las muchas que se hicieron.

No obstante también se mezclaron dos clases de vidrio para ver la resistencia y la reflexión de ambos, así mismo se ocuparon las mismas medidas del tamiz para poder comparar por igual la ventaja de vidrio ámbar y transparente, el compuesto se pesó en cada materia individualmente en una balanza y luego mezclaba dentro de un vaso de precipitados, ver figura 29, después se vertió dentro de los moldes, siempre viendo y controlando la viscosidad del compuesto.



Figura 29: Mezcla de las materias²⁹

²⁸ Imagen obtenida en: fuente propia

²⁹ Imagen obtenida en: fuente propia

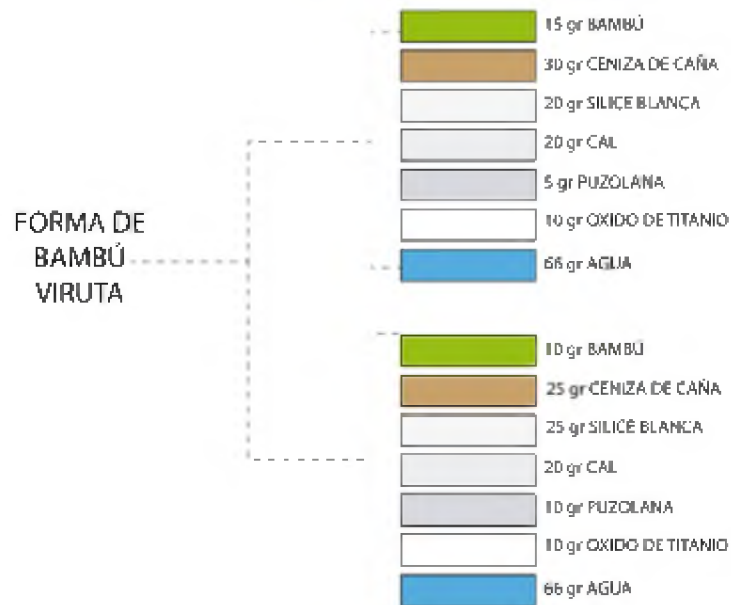


Figura 30: Mezcla de viruta de bambú³⁰

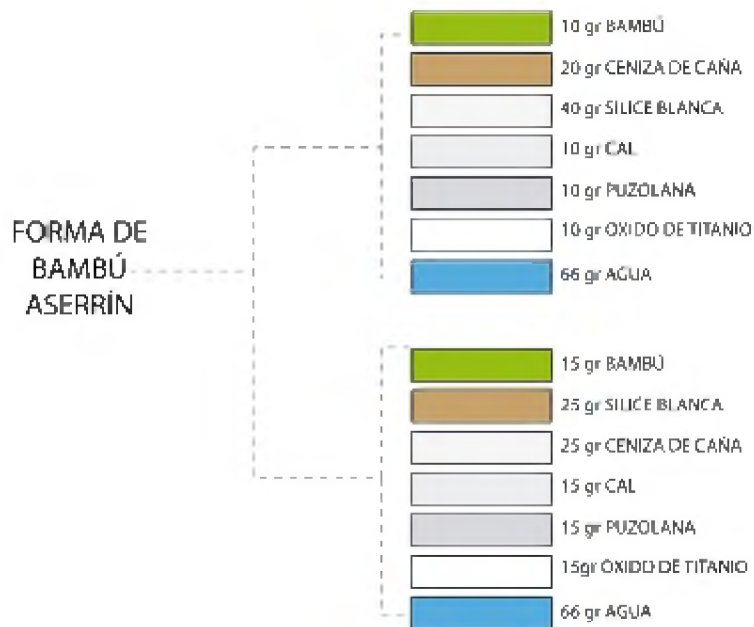


Figura 31: Mezcla de aserrín de bambú³¹

³⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

³¹ Imagen obtenida en: fuente propia

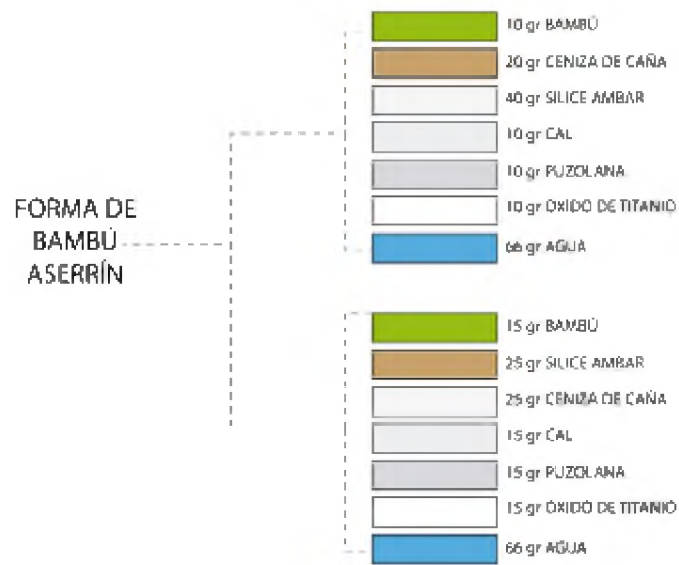


Figura 32: Mezcla de aserrín de bambú³²

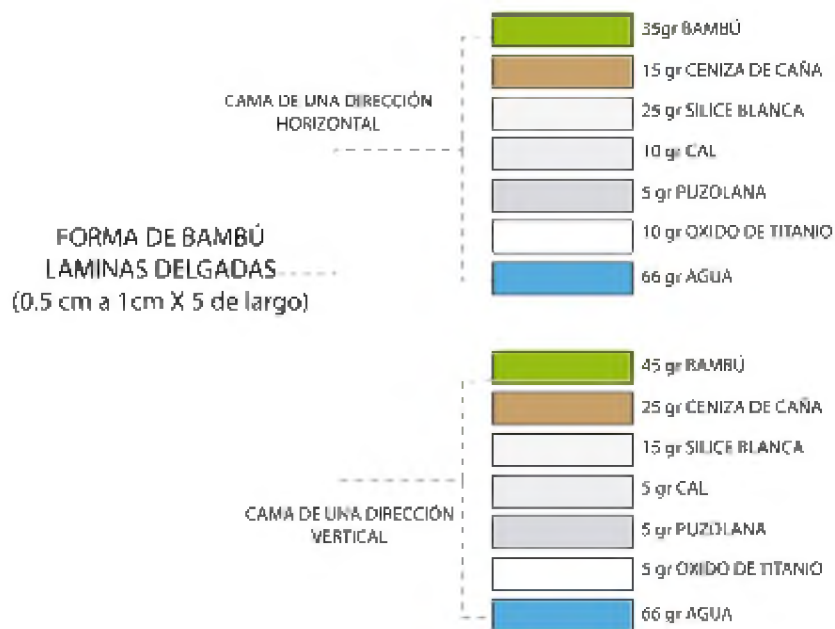


Figura 33: Mezcla con láminas delgadas de bambú³³

³² Imagen obtenida en: fuente propia

³³ Imagen obtenida en: fuente propia

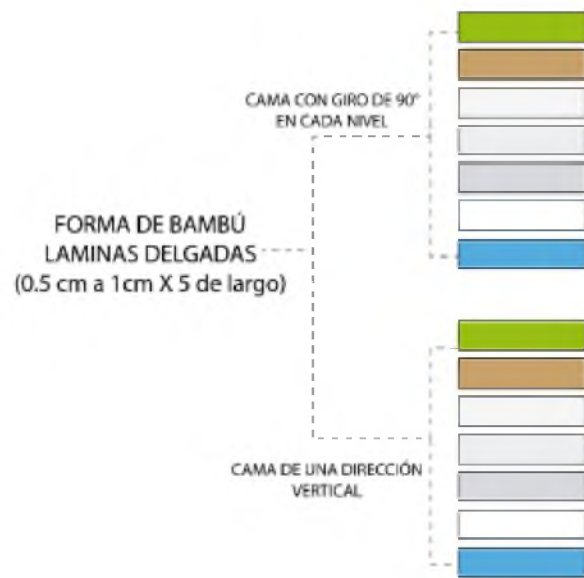


Figura 34: Mezcla con láminas delgadas de bambú 2³⁴

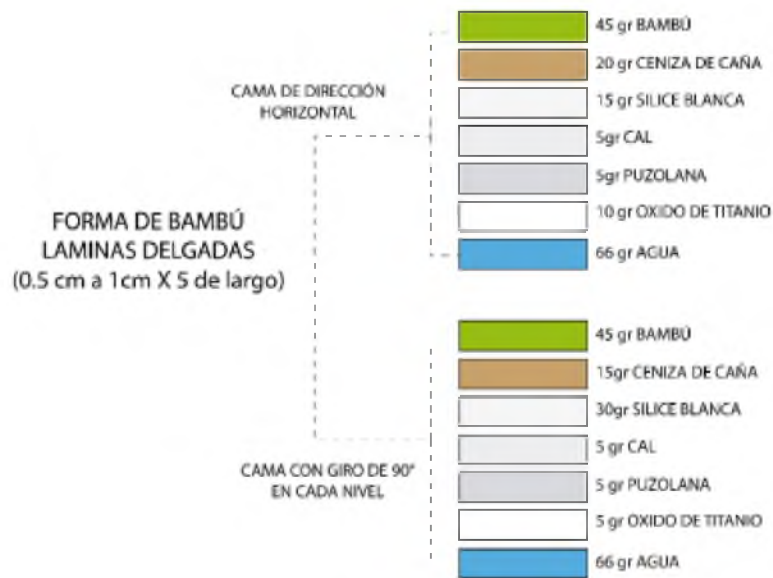


Figura 35: Mezcla con láminas delgadas de bambú 3³⁵

³⁴ Imagen obtenida en: fuente propia

³⁵ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 36: Mezcla con láminas anchas de bambú³⁶

5.2 EXPERIMENTACIÓN DE PRUEBAS REPLANTEADAS

Después de ver los comportamientos de las muestras hechas con los primeros parámetros de los materiales se pudo apreciar que fue necesario replantear la adición de algunos agregados: vidrio y el bambú, los cuales fueron trabajados para ayudar al material a tener una mayor resistencia al desmoronamiento y cuarteaduras. El vidrio tuvo que molerse en el molino de jarras a 50 rpm durante 3 horas esto para bajar el grado de trituración y tener un mayor número de material el cual es tratado en los tamiz de numero de malla 1.8 y 4.45, ver figura 37, esto para generar dos granos tanto grueso como pequeños, todo esto con el fin de que la mezcla tuviera de dónde agarrarse y así brindar dureza.



Figura 37: Vidrio molido pasado por el tamiz 1.8 y 4.45³⁷

³⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

³⁷ Imagen obtenida en: fuente propia

El bambú como agregado fue tratado ya que al estar en forma laminar fracturaba las muestras haciendo que estas no se volvieran un bloque, el cual no servía para el propósito, así se observó que en las primeras pruebas el aserrín del bambú dio buenos resultados, así que se procedió a la preparación del aserrín en una canteadora de banda generando bambú triturado se tuvo que tamizar con la finalidad de obtener un tamaño de fibra de bambú, esto con el fin de llevar un control, para esta prueba se pasó el bambú triturado en el tamiz 1.1 y 1.8 generando este tipo de materia (ver figura 38).



Figura 38: Bambú pasado por el tamiz 1.8 y 1.1³⁸

5.3 EXPERIMENTACIÓN CON MATERIALES REPLANTEADOS

Los nuevos parámetros son dictados por los dos nuevos compuestos ya que en los cubos del compuesto de las anteriores experimentaciones definitivamente las láminas y la viruta del bambú no tuvieron éxito, así como el vidrio al estar muy fino no generaba fuerza de agarre y se sedimentaba en el fondo del molde o incluso quedaba demasiado poroso haciendo un material propenso a la humedad, sin embargo la ceniza de caña, puzolana, óxido de calcio y óxido de titanio trabajaron perfectamente.

³⁸ Imagen obtenida en: fuente propia

Las primeras muestras estaban trabajadas con el método de fraguado por inmersión en agua, ya que tenía componentes cementantes que requerían 28 días para alcanzar la resistencia máxima pero como se ha mencionado algunos materiales no se conjuntaron con la mezcla (ver figura 39).



Figura 39: Bloque de prueba a replantear³⁹

Las siguientes figuras 40-51 muestran las diferentes combinaciones del segundo tiraje de muestras las cuales se mezclaron en diferentes proporciones de las primeras, se pudo observar que la proporción del vidrio y la ceniza de caña en una mayor cantidad a las demás generan una mezcla consistente, a la diferencia del primera producción este fue recubierto con una membrana de fraguado la cual no permite la pérdida de humedad dentro del bloque y funciona igual que el fraguado tradicional estos bloques también reposaron 28 días, pero la diferencia era la practicidad de tener los bloques en seco y tener una diferencia de resistencias, en las figuras 40 a la 51 se observa las diferentes mezclas realizadas.

³⁹ Imagen obtenida en: fuente propia

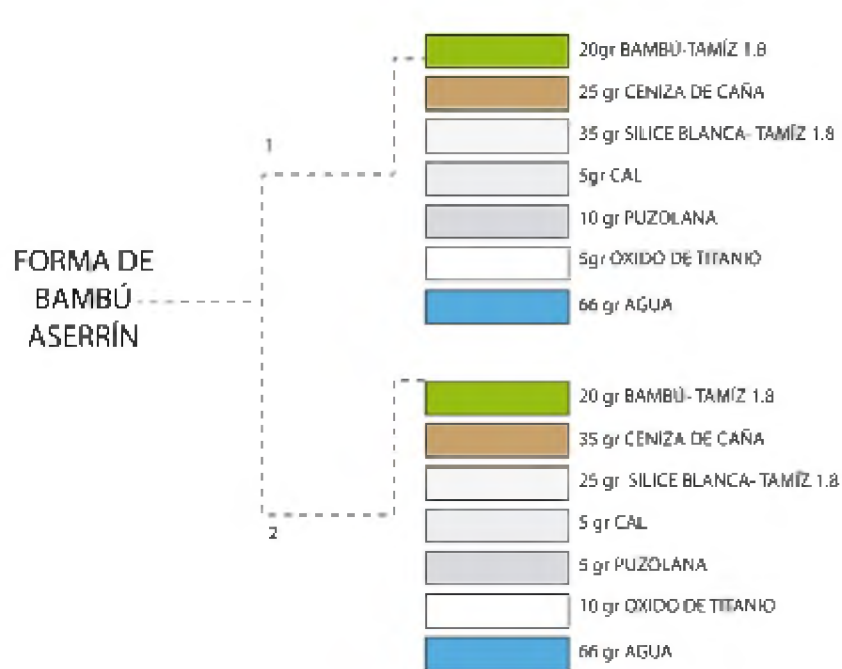


Figura 40: Prueba con aserrín de bambú 1-2⁴⁰

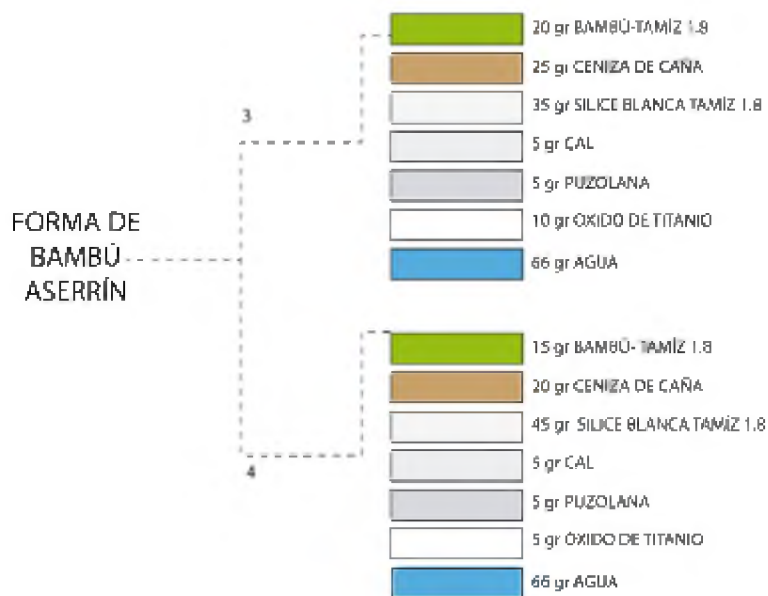


Figura 41: Prueba con aserrín de bambú 3-4 ⁴¹

⁴⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

⁴¹ Imagen obtenida en: fuente propia

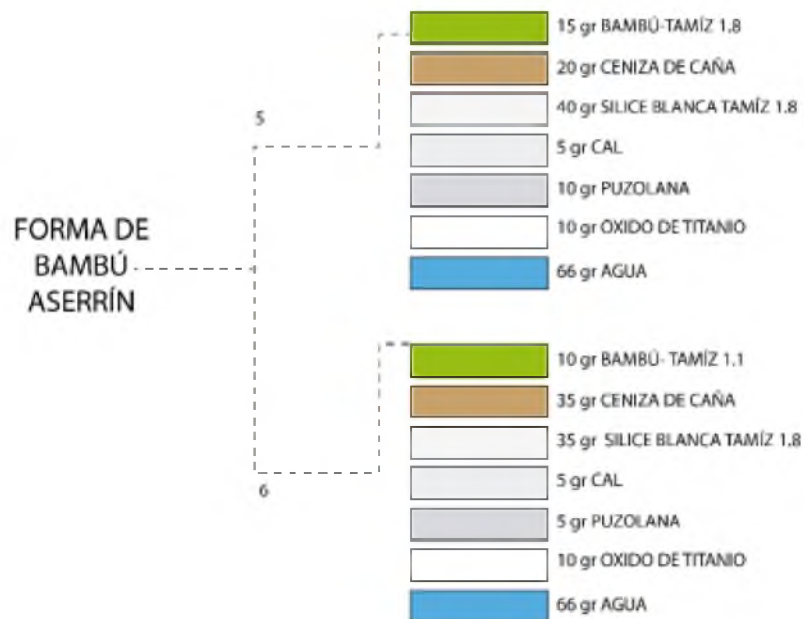


Figura 42: Prueba con aserrín de bambú 5-6⁴²

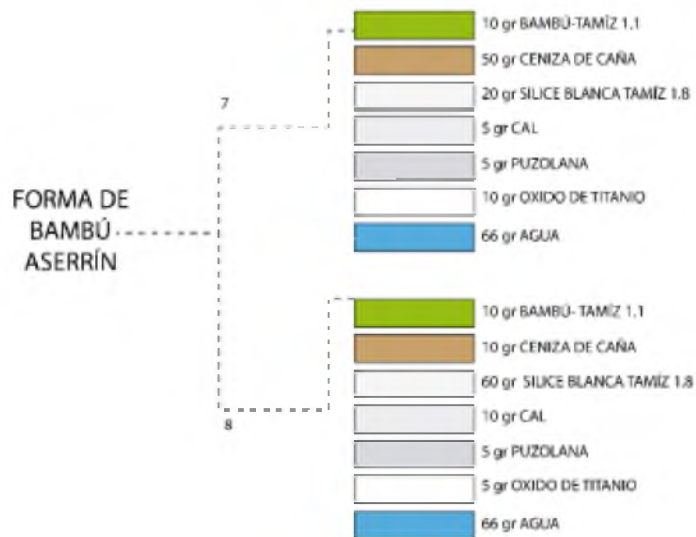


Figura 43: Prueba con aserrín de bambú 7-8⁴³

⁴² Imagen obtenida en: fuente propia

⁴³ Imagen obtenida en: fuente propia

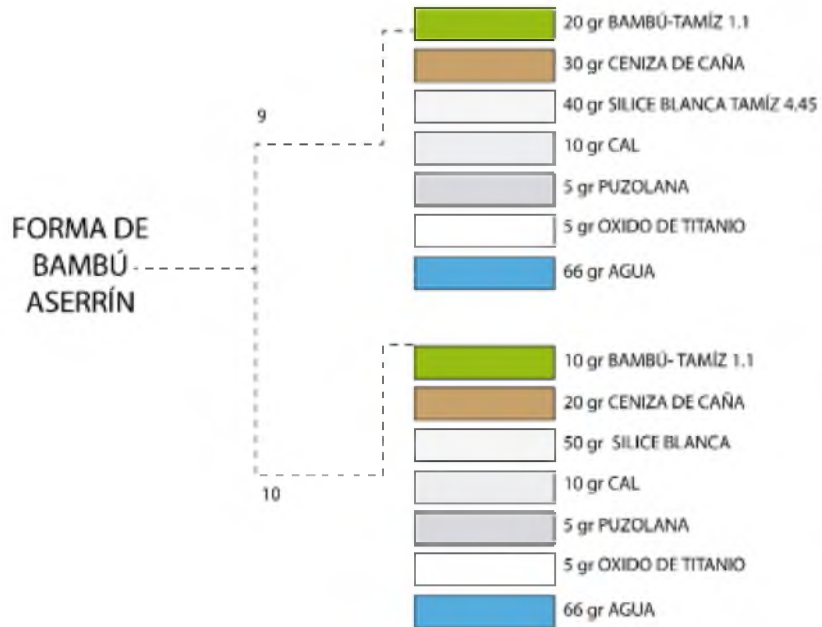


Figura 44: Prueba con aserrín de bambú 9-10⁴⁴

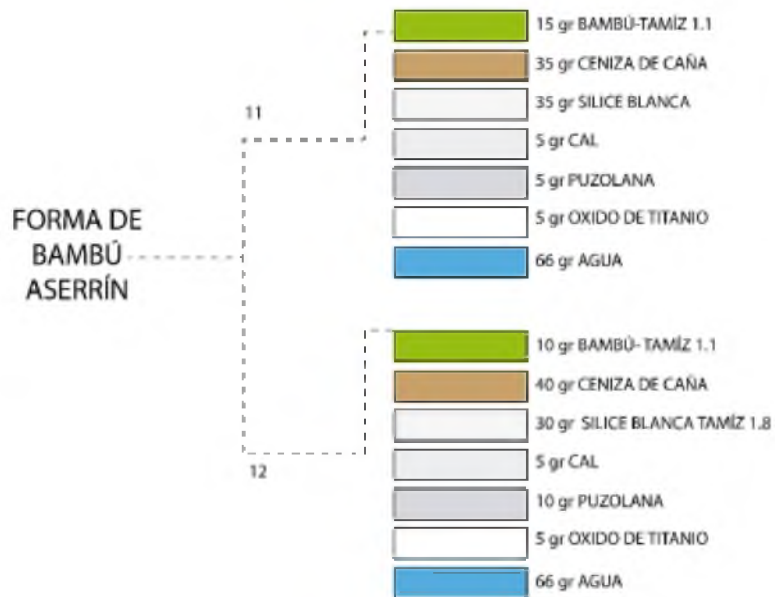


Figura 45: Prueba con aserrín de bambú 11-12⁴⁵

⁴⁴ Imagen obtenida en: fuente propia

⁴⁵ Imagen obtenida en: fuente propia

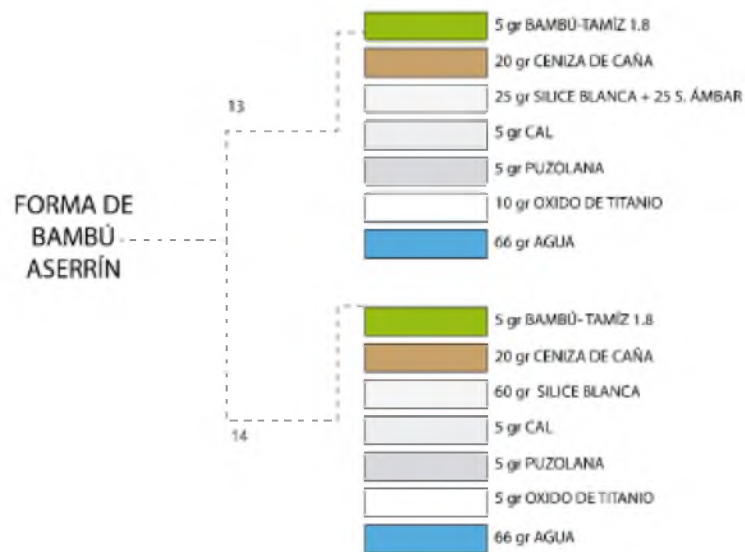


Figura 46: Prueba con aserrín de bambú 13-14⁴⁶

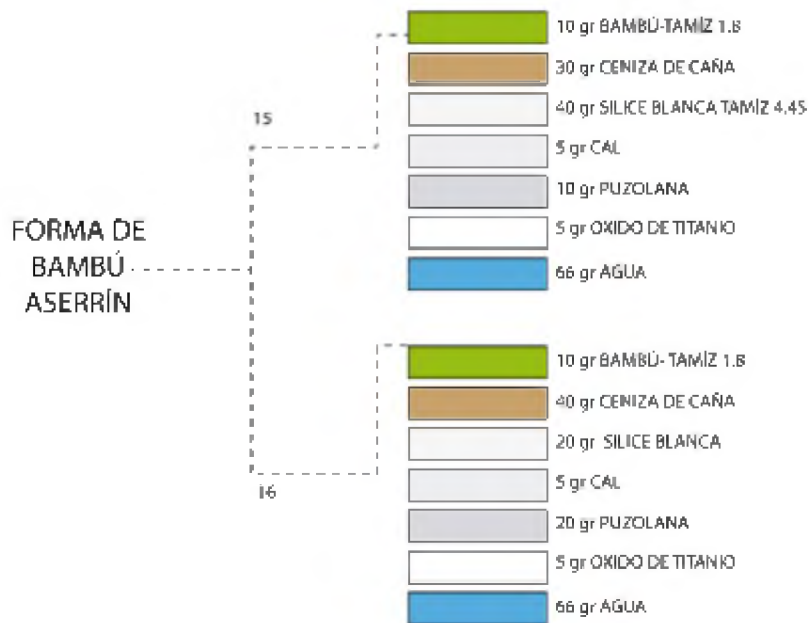


Figura 47: Prueba con aserrín de bambú 15-16⁴⁷

⁴⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

⁴⁷ Imagen obtenida en: fuente propia

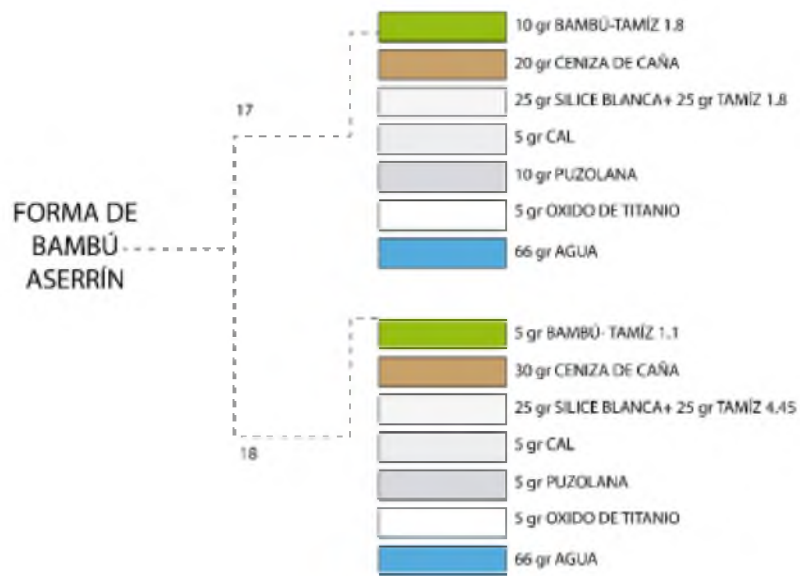


Figura 48: Prueba con aserrín de bambú 17-18⁴⁸

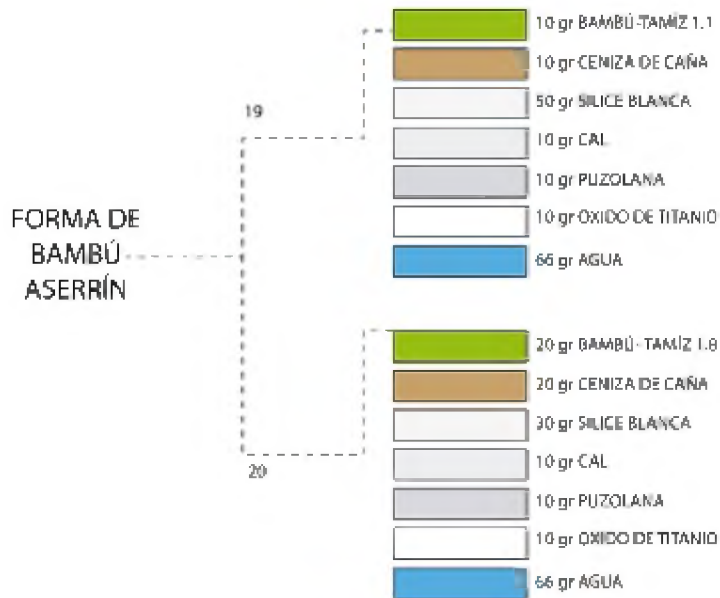


Figura 49: Prueba con aserrín de bambú 19-20⁴⁹

⁴⁸ Imagen obtenida en: fuente propia

⁴⁹ Imagen obtenida en: fuente propia

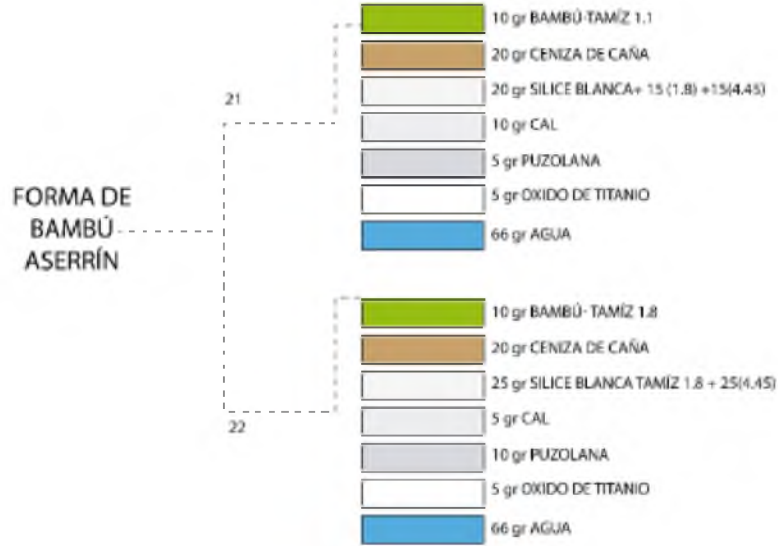


Figura 50: Prueba con aserrín de bambú 21-22⁵⁰

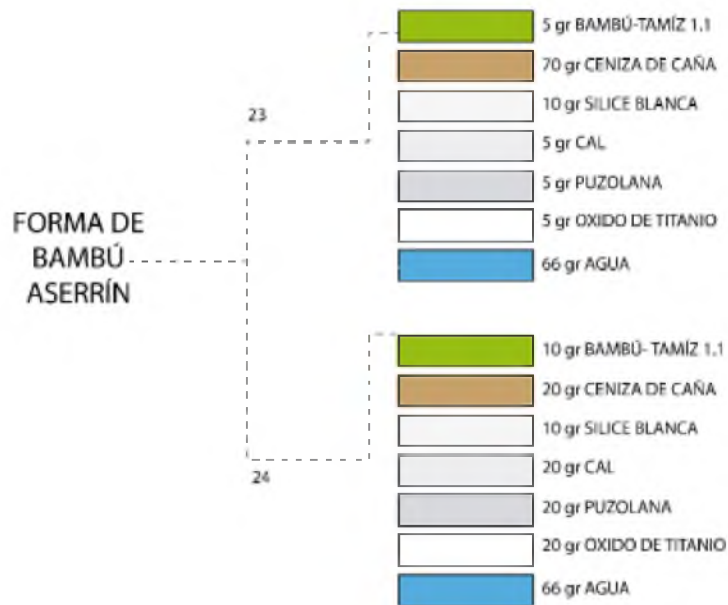


Figura 51: Prueba con aserrín de bambú 23-24⁵¹

⁵⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

⁵¹ Imagen obtenida en: fuente propia

Las pruebas del primer lote de muestras y el segundo lote el cual se recubrió con una membrana como se observa en la fig.52, después de haber fraguado están listas para someterse a ensayos físicos para poder concluir si es viable el material ecológico, la primer prueba hecha al material y la más importante es la de compresión ya que es el factor que exige las normas sobre los cielo rasos en la construcción de los espacios arquitectónicos.



Figura 52: Recubrimiento de membrana de curado ⁵²

⁵² Imagen obtenida en: fuente propia

5.4 ENSAYOS FÍSICOS PLANTEADOS AL COMPUESTO

Se realizó diversos ensayos con las muestras obtenidas, estas se sometieron a pruebas físico – químicas y condiciones mecánicas de su uso final.

- **Compresión:** el material tuvo que soportar su propio peso para distribuir su carga en los diferentes puntos de apoyo del sistema de plafonado.
- **Flexión:** debido a las cargas de uso de cableado, conductos y otro tipo de instalaciones el material sufre flexión es por esto que se inspecciono la parte plástica de la resistencia para ver si tiene alguna deformación.
- **Absorción:** se revisó como el material actúa con el agua si este agregado puede hacer hinchar el material o si tiene un grado de porosidad muy cerrado lo cual impide la absorción de la misma.
- **Humedad:** el material se expuso a un ambiente húmedo para ver el grado de humedad que conserva dentro de sí para esto se hará una diferencia de masas, donde la primera es el material completamente seco y la otra el material final después de la prueba.
- **Térmica:** se observó cuánto calor puede soportar en condiciones de temperaturas constantes, aquí se tomó el tiempo de consumo del material para ver la resistencia al calor, también se probó su capacidad térmica ante la entropía.
- **Ultrasonido:** esta prueba determina el grado que la mezcla logra compactarse dentro de sus agregados, es decir si se tiene un material muy fracturado o si el material es completamente sólido.

Selección: se ubicó una muestra que cumpla la mayor parte de nuestros parámetros previamente establecidos, sus componentes se anotaron en una bitácora de la cual se sustrajo los datos para una muestra final (este punto quedo pendiente hasta desarrollar la experimentación establecida en el subtítulo 5.3).

Producto final: este producto se fabricó en base a la selección de la mejor muestra, se agregó características estéticas pero este punto se desarrolló hasta haber obtenido un compuesto viable para la fabricación final.

Se seleccionaron las muestras más rígidas y las que menos se le notaban cuarteaduras tanto del producción 1 como la del 2, (ver figura 53) para someterlas a los ensayos físicos estas cuentan de 5 pruebas seleccionadas.

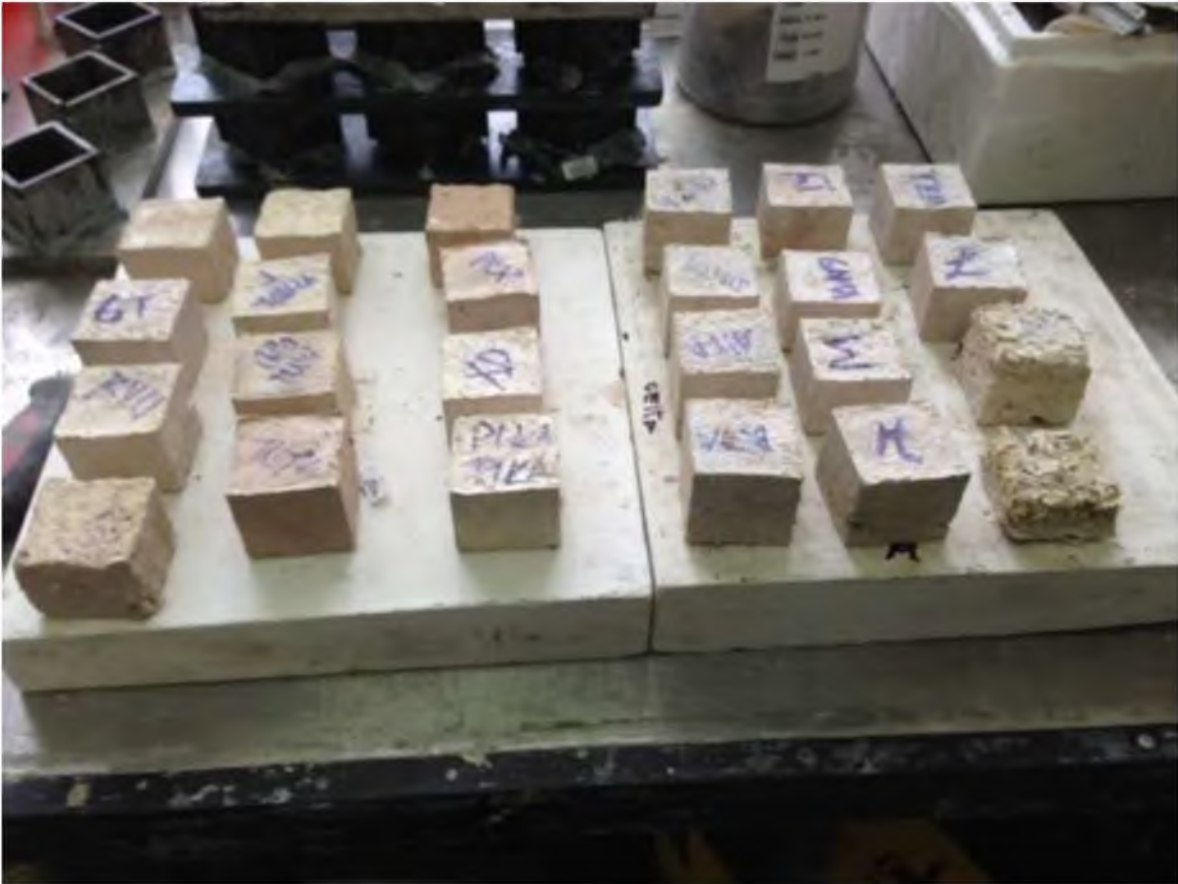


Figura 53: Muestras listas para ensayos⁵³

⁵³ Imagen obtenida en: fuente propia

Capítulo 6

PRUEBAS MECÁNICAS Y FISICO – QUIMICAS

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El objetivo de este ensayo es conocer las propiedades mecánicas en cuanto a resistencia de compresión de cada una de las combinaciones propuesta. Los ensayos de compresión se realizaron en el Laboratorio de la Universidad del Papaloapan y para su realización se utilizó una Prensa Hidráulica Davi 1202 F de operación eléctrica con una capacidad de 120 toneladas como se puede observar en la figura 54. El bloque del compuesto se colocó dentro de la prensa y se le ejerció una carga continua hasta que la prensa marco la carga máxima que el bloque fue capaz de soportar.



Figura 54: Bloque sometido a compresión⁵⁴

⁵⁴ Imagen obtenida en: fuente propia

El bloque al estar ligeramente descuadrado se tomó de los lados más rectos como punto de apoyo para aplicar la presión de la prensa, el bloque cuyo resultado fue el mayor de todos presentó cuarteaduras a 45° lo cual indica una buena homogeneidad dentro del compuesto (ver figura 55).



Figura 55: Fractura del bloque 2⁵⁵

Los resultados conseguidos durante el proceso de ensayo de compresión realizados a las muestras de concreto hasta la edad de 28 días se muestran en la tabla 4, en los resultados se muestra que el índice en las pruebas con fraguado normal lograron tener más resistencia a compresión en comparación con las recubiertas con membrana, se rompieron todos los bloques del cual el bloque con mayor resistencia dictó 380 kg/cm² usando los parámetros de agregados que se ocuparon para desarrollar los bloques en los siguientes ensayos físicos.

FRAGUADO NORMAL	FRAGUADO NORMAL	FRAGUADO MEMBRANA	FRAGUADO MEMBRANA	FRAGUADO MEMBRANA
160 Kg/cm ²	380 Kg/cm ²	360 Kg/cm ²	100 Kg/cm ²	320 Kg/cm ²
PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
ASERRÍN 1	VIRUTA 2	ASERRÍN 4	ASERRÍN 6	ASERRÍN 17

Tabla 4. Resultados de la prueba a Compresión

⁵⁵ Imagen obtenida en: fuente propia

6.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La prueba de resistencia a la flexión o prueba de módulo de ruptura como también se le conoce se usa para determinar la resistencia a la tracción del compuesto. Esta se llevó acabo en la misma máquina descrita en el ensayo de compresión.

Se colocó placa con las dimensiones de 1.2 x 15 x 50 cm, las cuales son las que pide como mínimo la norma NMX-C-160 (IMCYC, 2008) las medidas de espesor de prueba para un plafón. Sobre unos bloques se distribuyó las fuerzas las cuales se montan sobre un riel que tiene la prensa, se calzo para alcanzar la dimensión hasta donde la prensa hiciera contacto (ver figura 56).



Figura 56: Viga sometida a flexión⁵⁶

Con la carga máxima resultante, el peralte del espécimen y su momento de inercia, se obtuvo el módulo de ruptura, mediante de la aplicación de la siguiente expresión que se encuentra en el manual de operación de la prensa (IMCYC, 2008).

⁵⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

$$R=(PXL)/(bd^2)$$

R: Es el módulo de ruptura, en kPa (kg/cm²).

P: Es la carga máxima aplicada, en N (Kg).

L: Es la distancia en apoyos, en cm.

b: Es el ancho promedio del espécimen, en cm.

d: Es el peralte promedio del espécimen, en cm.

Con los resultados obtenidos se observa un esfuerzo a la flexión para la muestra el cual indico 160 Kg/cm² de resultado el cual está sobre lo que pide la norma DIN53452 para un plafón es 107 Kg/cm², el peso o carga máxima fue de 100 Kg/cm², el cual fracturó exactamente a la mitad de la viga como se ve en la figura 57 indicando un flexión uniforme sin presencia de torsión al momento de aplicar la fuerza, esta muestra al igual que los bloques del compuesto estuvo sometido a un fraguado de 28 días, el cual se manejó dejando la viga dentro del molde con agua, ya que una primera viga se desmolde para luego introducirla al agua pero al ser menor el tiempo de perdida de humedad se fracturaron los bordes imposibilitando el uso de esa viga, la segunda opción no presentó problema alguno al desmolde, e incluso se guardó los fragmentos del ensayo para otras pruebas.



Figura 57: Ruptura a Flexión de la Viga⁵⁷

⁵⁷ Imagen obtenida en: fuente propia

6.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La norma Mexicana NOM-018 (NMXO, 2015) exige llevar a cabo un estudio a los materiales para aislantes térmicos para edificaciones, se comprueba la conductividad del material ocupando módulos de referencia estos son de polímeros y de metal, para usar el equipo es necesario formar muestras de 5 cm de diámetro las cuales se someten a un tiempo de fraguado de 28 días para desmolde el círculo del compuesto, (ver figura 58) con el cual se sacan los parámetros que nos indicaron si el material es conductor térmico.



Figura 58: Círculo del compuesto ⁵⁸

Se sometieron todos los materiales a prueba en el equipo Quick line 10 (thermal impedance tester), (ver figura 59) donde se dejaron por un tiempo aproximado de 45 min hasta que los niveles del voltaje dejaran de variar o fueran constantes los grados centígrados del material, se monitorearon las 4 muestras en una bitácora para después hacer los cálculos pertinentes con el manual de operación del instrumento.

⁵⁸ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 59: Prueba de Conductividad Térmica⁵⁹

Después de obtener la ($R_s = \lambda/d$), R_s = resistencia térmica a la prueba se trata de despejar lambda de la operación para así obtener la conductividad térmica (λ) con respecto al diámetro de la pieza (d) y el tipo de material. El resultado de estas pruebas indica que el material tiene una baja conductividad térmica ($0.707 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) siendo ideal para espacios arquitectónicos ya que es fresco.

MATERIAL	DISIPADOR VOLTAJE	TORRE VOLTAJE	SUPERIOR VOLTAJE	REFERENCIA	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
VESPEL 963	12.6 °C	17.1 °C	37.4 °C	1.249	0.374
VESPEL 962	12.3 °C	15.5 °C	39.1 °C	1.249	0.374
STEEL 943	13.5 °C	22.5 °C	32.2 °C	1.249	14.71
COMPUESTO	12.3 °C	15 °C	39.9 °C	1.249	0.707

Tabla 5. Temperaturas de referencia

⁵⁹ Imagen obtenida en: fuente propia

6.4 ABSORCIÓN DE HUMEDAD

Prueba de relación tiempo con temperatura por pérdida de peso del compuesto, al desmoldar la pieza se secó durante 24 horas en un horno a temperatura de 50°C, (ver figura 60) esta temperatura para que el material pierda poco a poco la humedad sin fracturar el mismo, después se pesó, para luego sumergir al agua 24 horas y pesarlo para sacar un diferencia de pesos, con el cual se ve que el material sometido a humedad directa absorbe 24.2% de su peso, pero el mismo pierde en 24 horas toda la humedad por si solo a una temperatura relativa de 17°C en adelante según las condiciones.

La prueba indica que el material entre más humedad pueda contener y perder al mismo tiempo adquiere una dureza considerable, se puede ver que el desmoronamiento y la porosidad reducen después de un secado a más de 50°C, el material no se contrae conservando todas sus medidas lo que es una gran ventaja para el compuesto ya que el compuesto se propone para áreas con cambios de climas abruptos o condiciones húmedas y secas.

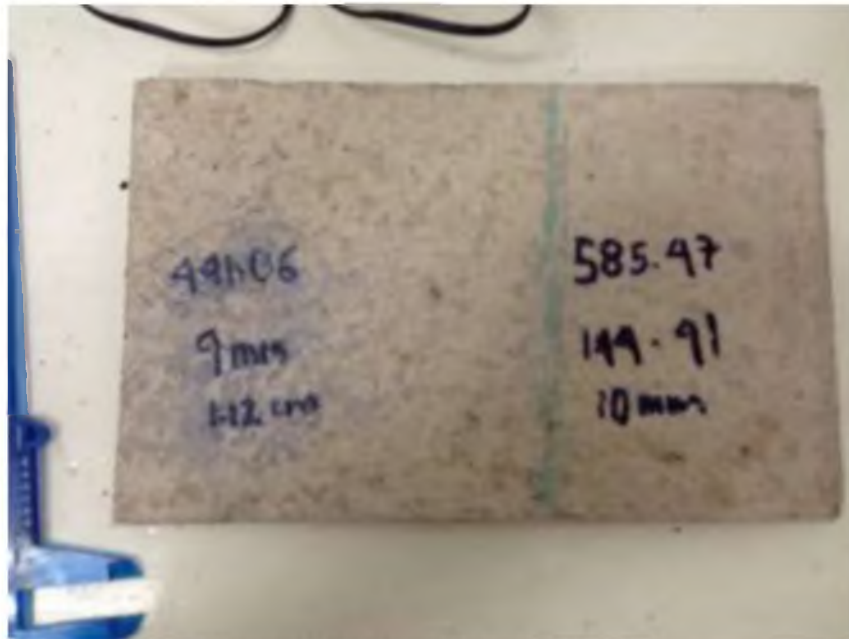


Figura 60: Prueba de humedad⁶⁰

⁶⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

6.5 PRUEBA DE ULTRASONIDO

Esta prueba se hizo con el fin de ver el grado de porosidad que tiene el material, a la placa del compuesto, se empieza por cubrirla con un gel lo cual genera una capa de emparejamiento de contacto en la placa para después poner el ultrasonido que previamente está conectado a un CPU el cual gráfico los resultados, ver figura 61, para este estudio se compararon tres materiales, concreto, yeso y el compuesto para determinar la eficacia.

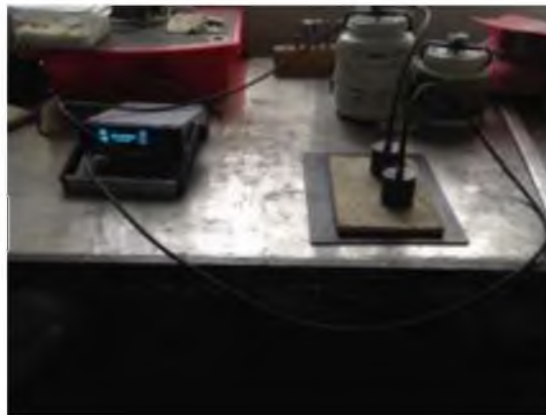


Figura 61: Prueba de ultrasonido⁶¹

El pulso del compuesto tiene un patrón de equilibrio característico de los concretos haciéndolo un material con porosidad muy baja, el concreto tiene 4146 m/s y el compuesto 4063 m/s, (ver figura 62).

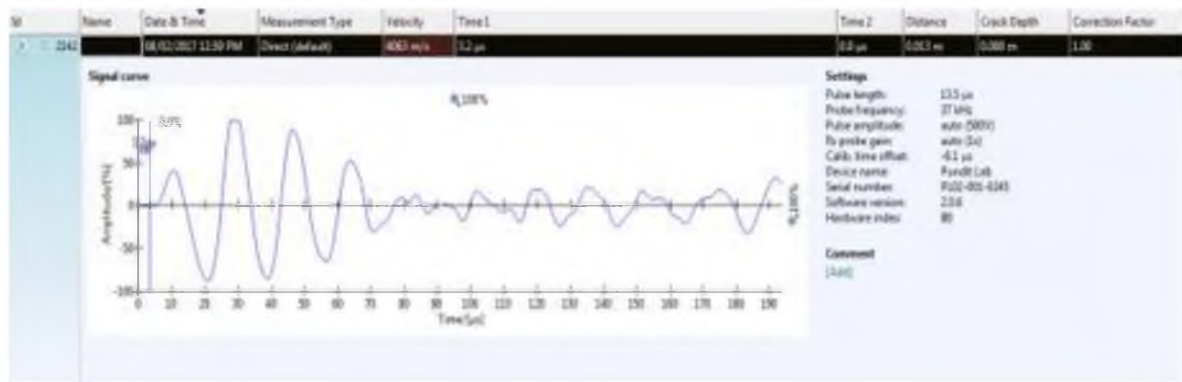


Figura 62: Grafica de ultrasonido del compuesto⁶²

⁶¹ Imagen obtenida en: fuente propia

⁶² Imagen obtenida en: fuente propia

6.6 PRUEBA DE CORROSIÓN

La prueba de corrosión requiere un resistivímetro con el cual la medición de la resistividad superficial proporciona una información extremadamente útil acerca del estado de una estructura de un material de construcción para espacios arquitectónicos. No sólo ha sido comprobado que está directamente enlazada con la probabilidad de corrosión y la velocidad de corrosión de los materiales usados, expuestos a condiciones abiertas e intemperies.

La placa fue comprobada con resistivímetro el cual consta de cuatro electrodos conectados a la corriente eléctrica, los cuales tienen que hacer contacto en la superficie para recibir un resultado marcado en el resistivímetro que en el caso del compuesto fue 42.2 k Ω /cm un buen resultado para un material compuesto, ver figura 63.



Figura 63: Prueba de corrosión⁶³

6.7 RESISTENCIA A LLAMA DIRECTA

Al cubo del compuesto se le aplicó flama directa durante un lapso de tiempo tomando datos para hacer una extrapolación del alcance del material y solo se obtuvo pérdida de peso (ver figura 64) en el material así como una mayor dureza, aparte que este no libera CO₂.

⁶³ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 64: Resistencia a la llama directa⁶⁴

Se tomaron los tiempos y los pesos del bloque para ver cómo iba reaccionando, se tomó solo 30 min porque después de ese tiempo la pérdida era gradual.

TIEMPO	PESO
0 MIN	119.37 gr
5 MIN	112.84 gr
10 MIN	109.56 gr
20 MIN	103.54 gr
30 MIN	100.32 gr

Tabla 6. Relación de peso y tiempo de quemado

6.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER A LA CENIZA DE CAÑA

Prueba llevada a cabo en el equipo spectrum series ftir-100 (ver figura 65), primero se colocó un miligramo en el depósito de materiales, para luego calibrar el equipo para que ignore los elementos que no son propios del material. Después de programar la cantidad de barridos, en este caso fueron 16, después de obtener los

⁶⁴ Imagen obtenida en: fuente propia

datos de donde se ubican los picos que nos dio referencia a los elementos que conforman el material. Teniendo los datos se graficaron los datos en un software especializado el cual ubica el rango de longitud de onda donde los elementos suelen oscilar.



Figura 65: Prueba de espectroscopia Infrarroja⁶⁵

Para este análisis sea más puntual se sometieron 3 tipos de ceniza las cuales tenían diferentes tipo de tratamiento térmico. Ceniza de caña pura sin tratamiento térmico, ceniza de caña a 900°C por 2.5 horas, ceniza de caña a 900°C por 6 horas (ver figura 66).

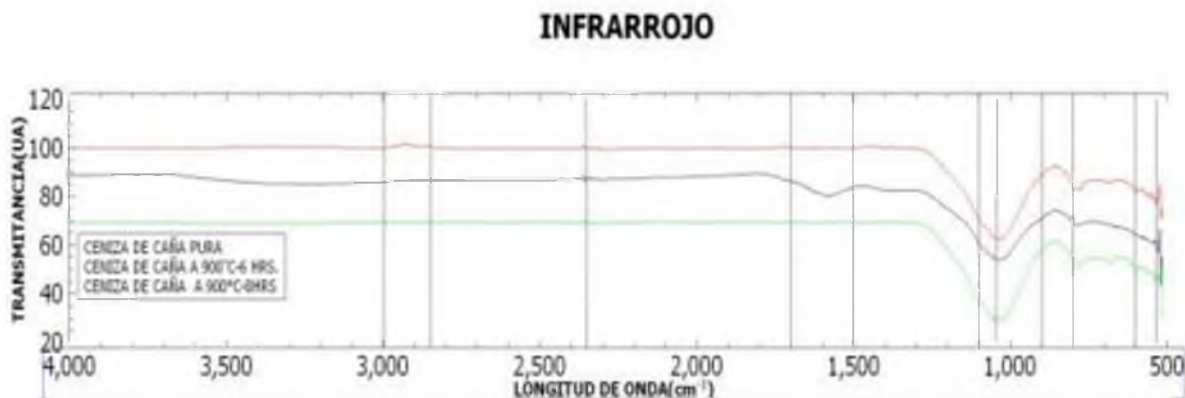


Figura 66: Prueba de Infrarrojo⁶⁶

⁶⁵ Imagen obtenida en: fuente propia

⁶⁶ Imagen obtenida en: Software SciDAVis

Después de hacer el análisis de infrarrojo se encontraron por medio de investigación los rangos de la longitud y transmitancia, así se sabe en qué grupos buscar.

Se aprecia una banda ancha, aunque no muy bien definida, entre los 3000 y 2900 cm^{-1} que indica la presencia tanto de hidrógenos libres como enlazados a grupos OH, esos picos en las tres pruebas pueden estar relacionados a la vibración de grupos (OH-). A 1700 cm^{-1} se registra un pico atribuido a los enlaces C=O de los ácidos carboxílicos, banda normalmente encontrada en materiales fibrosos esta solamente se registró en la prueba de ceniza pura de caña.

La banda a 1500 cm^{-1} puede estar relacionada con la presencia de grupos carbonilos de hidrocarburos conjugados. Se registró una banda a 1050 cm^{-1} que puede estar asociada tentativamente a las vibraciones de estiramientos anti simétricas de Si-O-Al. Las bandas en 1100 cm^{-1} y 800 cm^{-1} corresponden con las vibraciones anti simétricas y simétricas Si-O-Si. La banda a 900 cm^{-1} también está relacionada con los estiramientos -C-O-H y deformación -OH.

El espectro de los materiales muestra una banda estrecha a 520 cm^{-1} asignada a la vibración de flexión O-Si-O; a 600 cm^{-1} se registra una banda relacionada con el acoplamiento Si-O. La presencia de grupos polares carboxilos, carbonilos e hidroxilos, presentes en las pruebas con tratamiento térmico, pueden contribuir a la formación de enlaces con elementos metálico, hecho favorable que las convierte un potencial material adsorbente.

6.9 DIFRACCIÓN DE RAYOS – X

El análisis de difracción se realizó en el equipo- Difracción de Rayos X d8 Advance BRUKER empleando radiación $K\alpha$ de cobre de un intervalo de ángulo de barrido de 5 a 60°, la caracterización se realizó a un voltaje de excitación de ánodo de 30 Kv y una corriente de 100 mA, a una velocidad 4°min⁻¹.

La figura 67 muestra los principales componentes químicos presentes en la ceniza de caña. La composición química es variada y su origen puede estar dada, entre otros factores, por la mineralogía del suelo donde fueron sembradas las plantas de caña de azúcar. Los elementos mayoritarios presentes en la estructura química de la ceniza de caña son: el silicio, calcio, potasio, aluminio y hierro. Los elevados valores de estos tres elementos superiores en la gráfica sugieren que las cenizas tienen características similares a otros adsorbentes, como por ejemplo las zeolitas y las cenizas de carbón mineral.

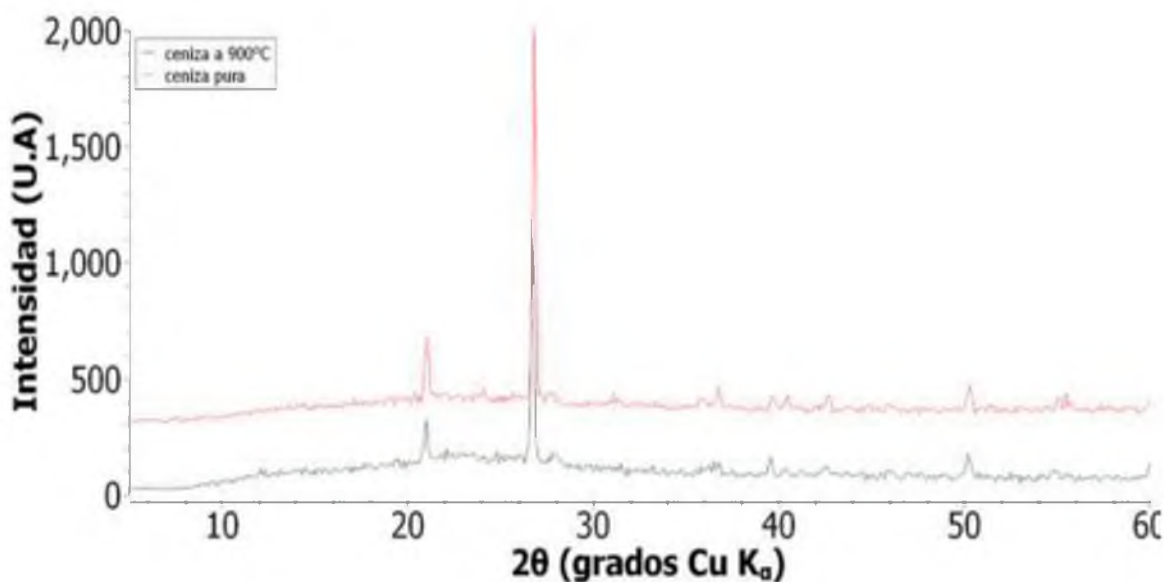


Figura 67: Prueba de Difracción⁶⁷

⁶⁷ Imagen obtenida en: fuente propia

Los difractogramas de rayos-x de las imágenes muestran la cristalinidad de la ceniza de caña con y sin tratamiento. El patrón de difracción de rayos-x de las dos cenizas muestra que la fase predominante del material es el cuarzo alfa. Diferencia de ceniza pura en el difractograma de rayos-x contra la tratada térmicamente refleja una mayor carga de sílice, con una elevada presencia de cuarzo. La calcita y el feldespato, aunque en menor grado, son otras de las fases encontradas en la ceniza de caña, su estructura general es hexagonal cuando alcanzan una temperatura superior a la de la cristobalita, debido al proceso de enfriamiento tardado solo se alcanza a tener un elemento semi- amorfo, la pérdida de sulfatos y carbono al calentar la ceniza a 900°C la hace perder densidad notando un ligero cambio de volumen y de color.

6.10 USABILIDAD DEL COMPUESTO

Se comprobó el manejo de condiciones reales de la industria como se presta el plafón para el uso de su instalación, primero se taladro múltiples veces y se observó que el material deja un agujero limpio sin virutas o residuos, también se cortó con una sierra inglete y se pudo ver que el material mantuvo un borde sin dejar relieves en la orilla, (ver figura 68-70), lo que certifico que el material puede ser manejado con condiciones normales en su uso.



Figura 68: Usabilidad al taladrado⁶⁸

⁶⁸ Imagen obtenida en: fuente propia



Figura 69: Usabilidad al corte con sierra⁶⁹



Figura 70: Usabilidad al corte con sierra⁷⁰

⁶⁹Imagen obtenida en: fuente propia

⁷⁰ Imagen obtenida en: fuente propia

Capítulo 7

MOLDE PARA EL COMPUESTO

7.1 FABRICACIÓN – MOLDE DEL PLAFÓN

Primero se consiguió una placa de madera que midiera 40 x 30 cm de área total para el plafón con un grosor de una pulgada, luego se perforo con una broca de $\frac{1}{4}$ de pulgada a lo largo del borde de 1.5 cm de largo por lo largo de las medidas iniciales, ajustando por la parte de en medio la medida, los tornillos de madera de $\frac{1}{2}$ pulgada se introdujeron y se apretaron dejando una base de una sola pieza (ver figura 71)

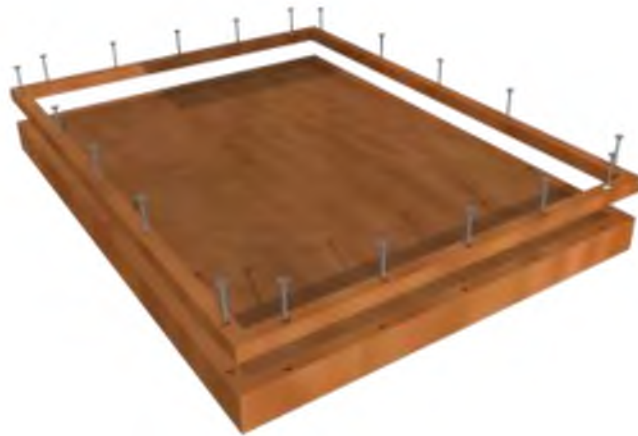


Figura 71: Modo de uso del molde 1⁷¹

⁷¹ Imagen obtenida en: fuente propia

El molde se recubrió con un desmóldate ya que el material es semi – viscoso el cual puede meterse en las esquinas del molde provocando un amarre al momento de desmoldar lo cual puede derivar en un defecto del plafón (ver figura 72).



Figura 72: Modo de uso del molde 2⁷²

El molde previamente tratado es relleno con la mezcla del compuesto uniformemente hasta llegar a un espesor de 12 mm ya que es la mejor altura para una buena usabilidad del material además de pesar 750 gr por placa estando muy por debajo del máximo establecido por las normas ASTM (ver figura 73).



Figura 73: Modo de uso del molde 3⁷³

⁷² Imagen obtenida en: fuente propia

⁷³ Imagen obtenida en: fuente propia

Después de un secado de 24 horas se metió a fraguar con todo y molde el plafón durante 28 días, se retiran los tornillos de todo el borde del molde hasta dejar libre la placa la cual se dejó secar durante otras 24 horas para un secado a 48 hrs en un horno de convección a 40°C para su uso en un espacio arquitectónico (ver figura 74).

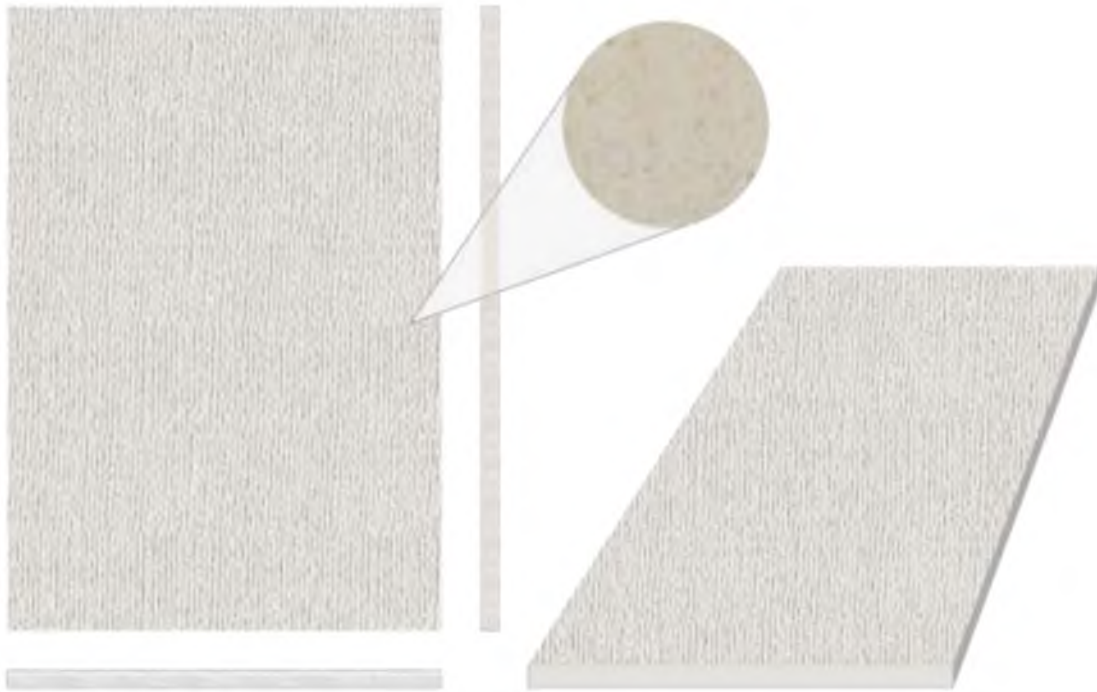


Figura 74: Plafón elaborado con el compuesto⁷⁴

7.2 FABRICACIÓN – POSIBLES APLICACIONES DEL PLAFÓN CON MATERIAL RECICLADO

Siguiendo la base del planteamiento del problema, se estableció que después del tiempo de vida de un plafón ecológico inteligente se puede usar como carga para

⁷⁴ Imagen obtenida en: fuente propia

mezclas constructivas, sustrato o como en este caso la elaboración de un macetero el cual servirá para prolongar la vida útil del material del cual estaba elaborado el plafón, un objetivo específico el cual es que sea sustentable, así que si se hace un macetero para el bambú que se ocupa puede ser una buena opción para reutilizar el material que en si parte de la misma materia, se molió el plafón hasta dejarlo en un estado de polvo para poder agregar un 40% de agua del peso total del plafón, el compuesto se activa con agua y se puede manejar para el uso de aplicaciones secundarias a diferencia de otros plafones comerciales que contienen polímeros, puzolanas o materiales fibrosos, estos no se pueden reciclar directamente, la relación fue comprobada con la elaboración de especímenes los cuales se construyeron usando una maceta de plástico como molde (ver figura 75), de uso para recubrir con la mezcla previamente cubierta con desmoldante, la maceta se dejó secar durante 24 horas a temperatura ambiente para después desmoldar la maceta y perforar la parte de abajo para que fluya el agua (ver figura 76).



Figura 75: Preparación del macetero⁷⁵



Figura 76: Compuesto reciclado⁷⁶

⁷⁵ Imagen obtenida en: fuente propia

⁷⁶ Imagen obtenida en: fuente propia

Capítulo 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la presente tesis se ha buscado cumplir con cada uno de los objetivos planteados, logrando consolidarlos favorablemente.

Para probar que realmente se puede crear un plafón con características inteligentes se tuvo que elaborar especímenes formados con los materiales que seleccionaron mediante la investigación de un marco teórico, los cuales dictaron que los materiales en forma granulada serian un mejor compuesto ya que con el agua acaban reaccionado químicamente provocando múltiples soluciones pre escritas a resolver en el los objetivos específicos.

Cuando se estableció los porcentajes del compuesto se comprobaron las normas requeridas de un plafón mediante ensayos físico – químicos superando con éxito las pruebas, lo cual certifica que los plafones inteligentes son viables desde un punto ecológico sustentable como se muestran en la tabla 7.

PRUEBAS Y ENSAYOS	RESULTADOS
COMPRESIÓN	380 kgf/cm ²
MODULO DE ELASTICIDAD	160 kgf/cm ²
ULTRASONIDO	4063 m/s
CORROSIÓN	42.2 kΩ/cm
ABSORCIÓN DE HUMEDAD	24.20%
RESISTENCIA A LLAMA	APROBADO
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	0.707 W m ⁻¹ K ⁻¹
MATERIAL RECICLABLE	APROBADO

Tabla 7. Resultados finales

La hipótesis que se ocupó como base en la elaboración del compuesto fue confirmada al superar los estándares de los plafones comerciales, ecológicos e inteligentes que hay en el mercado, la compresión de 380 kg/cm² es mayor a la resistencia que pide la norma ASTM C39 de los plafones, el módulo de elasticidad 160 kg/cm² cumple la norma de DIN 4701 que pide los estándares, el resultado al ultrasonido es notable con 4063 m/s ya que su transferencia es similar a la del concreto siendo esta de 4600 m/s, el compuesto cumple con la norma de corrosión NMX-C-501-ONNCCE-2015 al tener presente un resultado de 42.2 kΩ/cm lo cual es significativo en un material de contenido arcilloso, cumple con la norma estándar DIN ISO 306 de resistencia a llama directa, una conductividad térmica 0.707 W m⁻¹ K⁻¹ que supera los índices del mercado en la norma NMX-NOM-018, concluyo que la reutilización de las materias ocupadas pueden ser recicladas en un material con el propósito de un uso en espacios arquitectónicos.

8.2 RECOMENDACIONES

El fraguado tradicional se recomienda para que adquiriera la resistencia mecánica máxima del compuesto ya que la membrana de curado no funciona al tener contacto con el compuesto, también se recomienda que al momento de quitarles la humedad a los plafones en un horno de convección sea de una forma gradual para evitar que el material se pueda fracturar o bien que quede con una porosidad alta. El tiempo de desmolde debe de ser después de las 24 horas para dejar que el compuesto tenga una consistencia manejable.

1 Bibliografía

- 100, Introducing the NEW PerkinElmer Spectrum. (2005). FT-IR and FT-NIR Spectrometers,. *manual de uso*, pp 1-3.
- Aguirre S. (21 de Enero de 2018). *bigbangceilings*. Obtenido de <http://bigbangceilings.mx/historia.html>
- ANABALÓN, G. D. (Enero de 2006). CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO. *Tesis para optar al título de:INN. CONSTRUCTOR*. Chile.
- ANAYA, E. P. (2010). IMPLEMENTACIÓN DEL CÓDIGO ZONDRES2D. *Tesis profesional para obtener el título de ing. Geofísico*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO .
- Arch-Daily. (21 de Enero de 2018). *Materiales: Paneles prefabricados ecológicos*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/627066/materiales-paneles-prefabricados-ecologicos>
- Arch-Daily. (21 de Enero de 2018). *Plafón Metálico Geometrix : USG*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/2113/plafon-metalico-geometrix-usg>
- Armstrongceilings. (2018). Plafones de madera. (techline, Ed.) Estados Unidos. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de <https://www.armstrongceilings.com/commercial/es-mx/commercial-ceilings-walls/wood-ceilings.html#contact-us>
- Castro, E. (21 de Enero de 2018). Plafones. Sevilla, España.
- Claudia Andrea Arcos., D. M. (Noviembre de 2006). *La cascarilla de arroz como fuente de SiO2*. Venezuela: Grupo CYTEMAC.
- Cordeiro, C. (21 de Enero de 2018). *Virtual Pro*. Obtenido de <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/caracterizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cana-de-azucar-para-su-uso-como-puzolana-en-materiales-cementosos>
- Esteban F. (21 de Enero de 2018). *Óxido de Titanio*. Obtenido de https://www.ecured.cu/%C3%93xido_de_titanio_IV
- Europlak. (2018). Saint-Gobain Gypsum. *Panel y Plafones*, 4-9.
- EuroStone, E. (21 de Enero de 2018). *EuroStone Plafones Sustentables*. Obtenido de <http://eurostone.com.mx/>
- federal, D. (2011). *Coordinación General de Minería*. México: Secretaría de Gobernación.
- Guerrero, C. J. (2001). Rocas calizas. *Articulos UTM/ Mayo-Agosto*, pp.1-9.
- IMCYC. (2008). PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. *EDICIÓN DICIEMBRE*, pp. 3-5.

- IMCYC. (2008). PROBLEMAS. CAUSAS Y SOLUCIONES. *EDICION Diciembre*, PP. 3-5.
- J, Alejandro Salazar. (2018). Puzolanas. *Revista ION Vols. XXIX y XXX*, pp. 1-9.
- J. F. Martiren A-Hernández., S. B.-R. (2000). *Propiedades puzolánicas de desechos de la industria azucarera*,. Univ. Gh Kassel.
- Jairo Alexander Osorio Saraz., A. E. (2008). Evaluación de las propiedades mecánicas de la estructura interna de la guadua con un modelo matemático. México. *Journal of Materials Science* 31. (1996). En A. C. Smith.
- L. Lira-Cortés, G. R.-L. (2008). Sistema de Medición de la Conductividad Térmica de Materiales Sólidos. *SM2008-M218-1095-6* . Querétaro, México: Centro Nacional de Metrología .
- Lee, C. K. (1992). En *T. Journal of Material Science* 27 (págs. pp. 793-800).
- LTDA, A. (21 de Enero de 2018). Horno Mufla. Recuperado el Enero de 2018, de <https://blog.acequilabs.com.co/usos-horno-mufla-para-laboratorio/>
- Luis E, A. P. (Julio de 2013). Ingeniería Civil Tecnología de los Materiales. *Empleo de ceniza de bagazo de caña como un material adsorbente de bajo de costo en la eliminación de iones* . Chile: Universidad Tecnológica de Chile.
- MEXICANAS NORMAS OFICIALES. (2015). *PROYECTO DE NORMA 018*. MÉXICO: CATÁLOGO DE NORMAS MEXICANAS.
- Montoya, J. T. (21 de Enero de 2018). Crean en IPN plafones baratos y ecológicos. *vivirméXICO*, pág. 1.
- Murray, H. (1961). Industrial Applications of Kaolin. *Clays and Clay Minerals* . En H. Murray.
- Oblitas, I. (21 de Enero de 2018). *scrid*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, DE SISTEMAS Y ARQUITECTURA: <http://vidaverde.about.com/od/Tecnologia-y-arquitectura/fl/El-bambu-tipo-Guadua-para-la-construccion.html>
- OneState. (21 de Enero de 2018). RAYOS X. Estados Unidos. Obtenido de http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_02.html
- Palacios, E. (21 de Enero de 2018). *Arquitectura construcción: acabados*. Obtenido de <http://constacabados.blogspot.mx/2010/11/plafones.html>
- Porto, P. (21 de Enero de 2018). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/plafon/>
- R., Bautista. (21 de Enero de 2018). *Saint-Gobain*. Obtenido de <http://www.saint-gobain-sekurit.com/es/glosario/propiedades-del-vidrio>
- Raúl Gómez ., R. M. (2010). ESPECTROSCOPIA INFRARROJA. *Course Hero*, pp. 1-3.
- S., Torres. (2007). caracterizacion de la ceniza del bagazo de cana-de azucarpara su uso

como puzolana en materiales-cementosos. *revistavirtualpro*, pp. 5-8.

Sánchez A. (21 de Enero de 2018). *pochteca, SODIO, SILICATO DE*. Obtenido de <https://www.pochteca.com.mx/silicato-de-sodio/>

Swamy, V. y. (1994.). Thermodynamic assessment of silica phase diagram. J. Geophys. En V. y. Swamy.

T., Rosales. (21 de Enero de 2018). *YESOS PROINSA*. Obtenido de <http://www.yesosproinsa.com/yeso1.html>

Valenzuela, M. A. (21 de Enero de 2018). Crean en IPN plafones baratos y ecológicos. *vivirméxico*, pág. 1.

Vera, I. J. (Febrero de 2013). Óxido de Calcio(La cal). *LA CAL*. España: Universidad Nacional del Santa.