



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

**TESIS
CARTÓN COMO ALTERNATIVA AL CASETÓN DE
POLIESTIRENO EN LOSAS NERVADAS**

**PRESENTA
Emilio Saucedo Franco**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
CON ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN**

**COMITÉ TUTORIAL
Dr. Gerardo Araiza Garaygordóbil
Dr. Jonathan Hammurabi González Lugo
M. en Arq. S. Héctor Fernando Paredes Gutiérrez**

Aguascalientes, Ags., abril 2021

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

AUTORIZACIONES



TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

Dr. en C.T.C. Héctor Homero Posada Ávila
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **EMILIO SAUCEDO FRANCO** con ID **125405** quien realizó *la tesis* titulado: **CARTÓN COMO ALTERNATIVA AL CASETÓN DE POLIESTIRENO EN LOSAS NERVADAS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 24 de mayo de 2021.



Dr. Gerardo Araiza Garaygordóbil
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL

Dr. en C.T.C. Héctor Homero Posada Ávila
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como **COTUTOR** designado del estudiante **EMILIO SAUCEDO FRANCO** con ID **125405** quien realizó *la tesis* titulado: **CARTÓN COMO ALTERNATIVA AL CASETÓN DE POLIESTIRENO EN LOSAS NERVADAS** un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda proceder a imprimir*la* así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 24 de mayo de 2021.



Dr. Jonathan Hammurabi González Lugo
Cotutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**CARTA DE VOTO APROBATORIO
INDIVIDUAL**

**Dr. en C.T.C. Héctor Homero Posada Ávila
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **EMILIO SAUCEDO FRANCO** con ID **125405** quien realizó *la tesis* titulado: **CARTÓN COMO ALTERNATIVA AL CASETÓN DE POLIESTIRENO EN LOSAS NERVADAS**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"**

Aguascalientes, Ags., a 02 de junio de 2021.



**M. Arq. Sustentable Héctor Paredes Gutiérrez
Asesor de tesis**

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO

Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: _____

NOMBRE: _____ EMILIO SAUCEDO FRANCO _____ **ID** 125405

PROGRAMA: _____ MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL _____ **LGAC (del posgrado):** _____ Construcción y Estructuras _____

TIPO DE TRABAJO: _____ () Tesis _____ () Trabajo Práctico _____

TÍTULO: _____ FABRICACIÓN DE LOSAS NERVADAS CON CARTÓN CORRUGADO COMO ALTERNATIVA AL USO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) _____

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): _____ Fabricar un caseton de cartón corrugado es posible en el sistema constructivo de losas nervadas, obteniendo la materia prima de el reciclaje y la reutilización de cartón corrugado, consiguiendo un impacto ambiental menor a comparación de los casetones hechos de poliestireno expandido. _____

INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:

| INDICAR | SI | NO | N.A. (NO APLICA) | SEGÚN CORRESPONDA: |
|--|----|----|------------------|--|
| Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo practico: | | | | |
| SI | | | | El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado |
| SI | | | | La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario |
| SI | | | | Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado |
| SI | | | | Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda |
| SI | | | | Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área |
| SI | | | | El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área |
| SI | | | | Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país |
| SI | | | | Generó transferencia del conocimiento o tecnológica |
| SI | | | | Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio) |
| El egresado cumple con lo siguiente: | | | | |
| SI | | | | Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia |
| SI | | | | Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc) |
| SI | | | | Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor |
| N.A. | | | | Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario |
| SI | | | | Coincide con el título y objetivo registrado |
| SI | | | | Tiene congruencia con cuerpos académicos |
| SI | | | | Tiene el CVU del Conacyt actualizado |
| NO | | | | Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda) |
| En caso de Tesis por artículos científicos publicados | | | | |
| NO | | | | Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa |
| N.A. | | | | El estudiante es el primer autor |
| N.A. | | | | El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico |
| N.A. | | | | En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación. |
| N.A. | | | | Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados |
| NO | | | | La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto |

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Sí _____
No _____

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

Dr. Miguel Angel Soto Zamora

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Dr. Gerardo Hernandez Marin

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, designado por el Decano

Revisó:

Dr. Alejandro Acosta Collado

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Autorizó:

Dr. en C.T.C Hector Hernandez Posada Avila

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

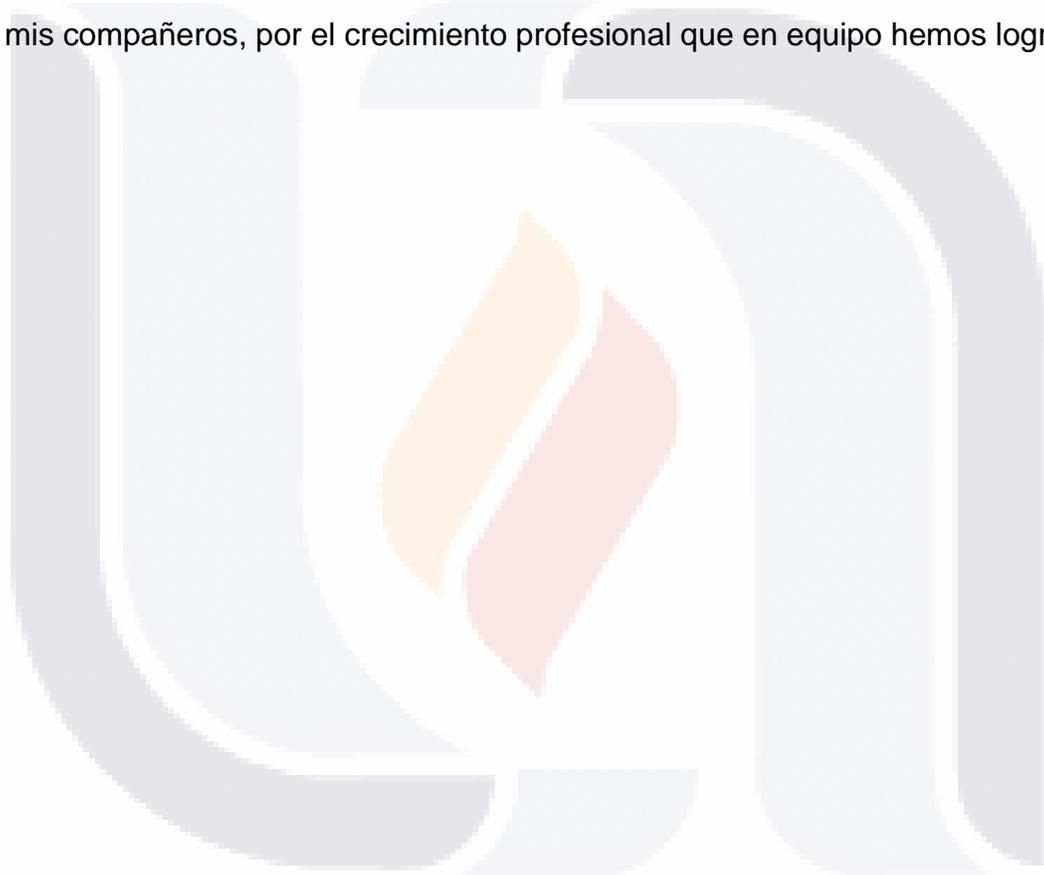
En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por enseñarme a creer en mí y darme su apoyo para cumplir mis metas.

A mis maestros y asesores, porque me han aportado nuevos conocimientos, consejos y una visión renovada de la ingeniería y la investigación.

A mis compañeros, por el crecimiento profesional que en equipo hemos logrado.



DEDICATORIAS

A todos estos años de sacrificio, consejos y siempre un optimismo, dedico esta tesis a mis padres que día a día me han ayudado a perseguir mis sueños, siempre buscando el seguir adelante sin importar el tiempo ya que con su ejemplo y perseverancia me dan la fuerza para seguir adelante.



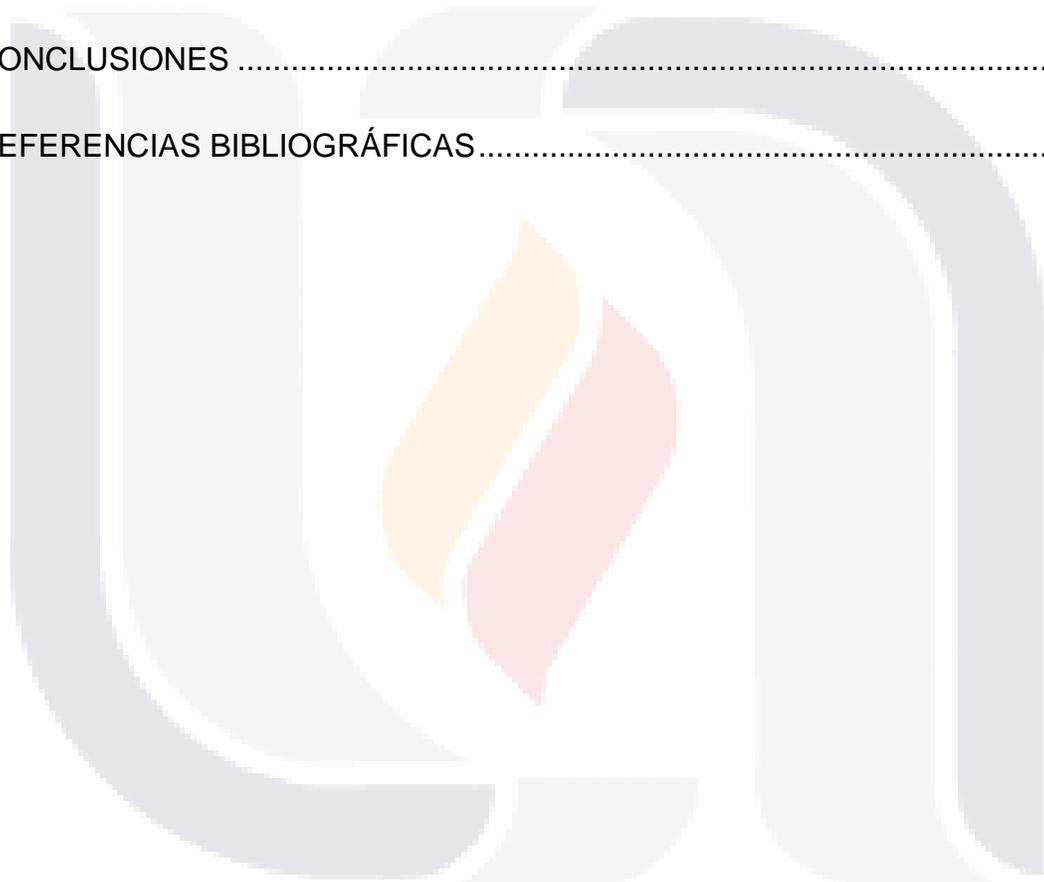
ÍNDICE

| | |
|---|----|
| ÍNDICE GENERAL..... | 1 |
| ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS E IMÁGENES..... | 7 |
| ACRÓNIMOS..... | 9 |
| RESUMEN | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| CAPÍTULO I..... | 15 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 15 |
| 2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN..... | 23 |
| 3. ALCANCES Y METAS..... | 23 |
| 4. JUSTIFICACIÓN..... | 24 |
| CAPÍTULO II | 27 |
| REFERENTES TEÓRICOS | 27 |
| 2.1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE | 27 |
| 2.1.1 Impacto ambiental y huella ecológica..... | 28 |

| | | |
|-----|---|----|
| 2.2 | LA CONSTRUCCIÓN Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y SOSTENIBLE | 34 |
| 2.3 | LAS 9R COMO EJERCICIO PARA LA PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DEL EPS POR CARTÓN CORRUGADO EN LOSAS NERVADAS | 38 |
| 2.4 | POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)..... | 39 |
| 2.5 | CARACTERÍSTICAS GENERALES Y FÍSICO QUÍMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO | 41 |
| 2.6 | OBTENCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)..... | 47 |
| 2.7 | APLICACIONES DEL EPS EN LAS OBRAS CIVILES Y LAS EDIFICACIONES..... | 48 |
| 2.8 | GESTIÓN SUSENTABLE DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO, DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE, RECICLADO Y REUTILIZACIÓN | 50 |
| 2.9 | CARTÓN CORRUGADO RECICLADO COMO ALTERNATIVA AL USO DE EPS EN LOSAS NERVADAS Y DESAFÍOS MEDIOAMBIENTALES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN..... | 55 |
| | CAPÍTULO III | 59 |
| | METODOLOGÍA | 59 |
| 3.1 | HIPÓTESIS DE TRABAJO | 59 |
| 3.2 | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 60 |
| | CAPÍTULO IV..... | 62 |
| | DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL..... | 62 |

| | | |
|------------------------------|---|-----|
| 4.1 | MATERIALES | 62 |
| 4.2 | ELABORACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA LOSA NERVADA.... | 63 |
| 4.2.1 | Sustratos | 63 |
| 4.2.2 | Elaboración mucílago de nopal | 66 |
| 4.2.3 | Incorporación de cal a la mezcla de mucílago de nopal..... | 69 |
| 4.2.4 | Aplicación de mezclas..... | 70 |
| 4.3 | ELABORACIÓN DE LA LOSA Y PRUEBAS..... | 71 |
| 4.3.1 | Pruebas Piloto | 71 |
| 4.3.2 | Probetas realizadas con mucílago de nopal con cal como recubrimiento | 77 |
| 4.4 | SOMETIMIENTO DE PROBETAS FINALES A PRUEBAS DE CARGA Y DEFORMACIÓN..... | 81 |
| 4.5 | DISEÑO DEL PROTOTIPO IMPRESO EN 3D | 88 |
| 4.6 | ELABORACIÓN DEL CASETÓN CON LA MEZCLA DE SUSTRATO DE CARTÓN CORRUGADO, AGUA COMO AGLUTINANTE Y RECUBRIMIENTO DE MUCÍLAGO DE NOPAL | 93 |
| 4.6.1 | Proceso de elaboración de las mezclas y el casetón | 93 |
| 4.7 | EXPERIMENTO, ESCALA Y CONDICIONES REALES | 97 |
| CAPÍTULO V..... | | 101 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | | 101 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDO EN LA PROBETAS | 101 |
| 5.2 | ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA CARGA DEL CASETÓN FABRICADO CON CARTÓN CORRUGADO..... | 103 |
| 5.3 | COSTO DE ELABORACIÓN DEL CASETÓN | 105 |
| 5.4 | COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS | 106 |
| | CONCLUSIONES | 108 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 110 |



ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

| No. Tabla | Descripción | Pag. |
|------------------|--|-------------|
| Tabla No. 1 | Clasificación y Estimación de los RCD | 18 |
| Tabla No. 2 | Estabilidad química del EPS | 43 |
| Tabla No. 3 | Características físicas del EPS | 45 |
| Tabla No. 4 | Cartón corrugado por tipo de onda | 55 |
| Tabla No. 5 | Hipótesis y variables de investigación | 58 |
| Tabla No. 6 | Probetas elaboradas con mezcla de agua y cartón corrugado | 63 |
| Tabla No. 7 | Proporciones de Material para elaborar 1,200 litros con recubrimiento a base mucílago de nopal con cal | 67 |
| Tabla No. 8 | Mezcla de cartón y mucílago como aglutinante | 68 |
| Tabla No. 9 | Mezcla de cartón y mucílago como recubrimiento | 68 |
| Tabla No. 10 | Mezcla de cartón y mucílago con cal como recubrimiento | 69 |
| Tabla No. 11 | Resultados de la prueba de permeabilidad en mezcla de cartón y agua utilizando tubos Karsten | 71 |
| Tabla No. 12 | Resultados de la prueba de permeabilidad en mezcla de cartón y agua con mucílago de nopal utilizando tubos Karsten | 71 |
| Tabla No. 13 | Resultados prueba de permeabilidad en mezcla cartón y mucílago de nopal como aglutinante, utilizando tubos Karsten | 72 |
| Tabla No. 14 | Resultados prueba de permeabilidad en mezcla de cartón, mucílago de nopal y recubrimiento de mucílago de nopal con cal | 74 |
| Tabla No. 15 | Pruebas de permeabilidad en probetas | 76 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tabla No. 16 | Volumen total de agua absorbido por probeta y promedio general | 79 |
| Tabla No. 17 | Pruebas de carga y deformación en prensa triaxial | 80 |
| Tabla No. 18 | Pruebas de carga y deformación en prensa T.R.S. | 83 |
| Tabla No. 19 | Proceso de impresión (parte 1) | 88 |
| Tabla No. 20 | Proceso de impresión (parte 2) | 89 |
| Tabla No. 21 | Proceso de impresión (parte 3) | 90 |
| | Resultados de permeabilidad por probeta en minutos | 99 |
| Tabla No. 22 | por cada 4 ml. | |
| | Promedios en frecuencia y porcentaje de grado de permeabilidad por cada 4 mililitros de 5 a 35 minutos | 100 |
| Tabla No. 23 | por probeta | |
| | Mínimos y máximos de carga en kilos fuerza y deformación de probetas en prensas | 102 |
| Tabla No. 24 | | |
| | Costos de elaboración del casetón de cartón corrugado | 103 |
| Tabla No. 25 | | |
| | Comparación de características de las losas y los materiales de elaboración | 109 |
| Tabla No. 26 | | |

ÍNDICE DE FIGURAS E IMÁGENES

| No. Figura | Descripción | Pag. |
|-------------------|---|-------------|
| Figura No. 1 | Ciclo de vida de la construcción | 30 |
| Figura No. 2 | Cadena productiva de la industria de la construcción | 31 |
| Figura No. 3 | Triángulo de Nijkamp | 33 |
| Figura No. 4 | Proceso circular para la innovación de materiales de construcción | 37 |
| Figura No. 5 | Derivados del Etano | 39 |
| Figura No. 6 | Composición del poliestireno expandido EPS | 40 |
| Figura No. 7 | Obtención del Polímero expandible (1) | 41 |
| Figura No. 8 | Obtención del Polímero expandible (2) | 42 |
| Figura No. 9 | Elementos del cartón corrugado | 54 |
| Imagen No. 1 | Uso del EPS en obras civiles (carreteras) | 46 |
| Imagen No. 2 | Aplicaciones del EPS en edificaciones | 47 |
| Imagen No. 3 | Elaboración de bastidor de madera y malla donde se realizarán las probetas con las medidas 10cm x 2cm x 2.5cm | 61 |
| Imagen No. 4 | Probetas realizadas triturando cartón y empleando agua como aglutinante | 62 |
| Imagen No. 5 | Probeta una vez seca y retirada del bastidor de madera | 63 |
| Imagen No. 6 | Mezcla para obtener mucílago de nopal | 64 |
| Imagen No. 7 | Hojas de nopal con corte en trozo para liberar con mayor facilidad la sustancia viscosa. | 65 |
| Imagen No. 8 | Agregando los 10gr de sal a los 3 litros de mucílago de nopal obtenidos. | 66 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Imagen No. 9 | Prueba de permeabilidad a probeta de la mezcla de cartón y agua | 70 |
| Imagen No. 10 | Muestra de material realizado con mucílago de nopal donde se muestra una retención parcial al líquido | 73 |
| Imagen No. 11 | Primera prueba piloto de permeabilidad en mezcla de cartón con mucilago de nopal como recubrimiento y recubrimiento de mucílago de nopal con cal. Se puede apreciar que el agua se distribuye superficialmente pero no llega a introducirse en el material | 75 |
| Imagen No. 12 | Prototipo de modelo 3d (base, muros y tapa) | 86 |
| Imagen No. 13 | Impresora Creality CR10S PRO | 87 |
| Imagen No. 14 | Elementos a imprimir (piezas) | 87 |
| Imagen No. 15 | Geometría final del casetón producido con molde | 91 |
| Imagen No. 16 | Pesaje del cartón corrugado | 92 |
| Imagen No. 17 | Sustrato y aglutinante listos para mezclar | 92 |
| Imagen No. 18 | Molde ya ensamblado, se puede apreciar el relleno de mezcla | 93 |
| Imagen No. 19 | Proceso de secado del casetón una vez retirada la tapa y los muros del prototipo | 94 |
| Imagen No. 20 | Casetón con recubrimiento totalmente seco | 94 |
| Imagen No. 21 | Casetón y cimbra utilizadas | 95 |
| Imagen No. 22 | Resistencia del casetón con carga de una persona adulta con peso de 74 kg. | 96 |
| Imagen No. 23 | Mezcla de concreto $f'c=200\text{kg/cm}^2$ | 96 |
| Imagen No. 24 | Concreto con carga adicional de una persona simulando una situación real | 97 |
| Imagen No. 25 | Concreto con retiro de cimbra después de siete días | 97 |
| Imagen No. 26 | Costo del casetón de EPS con medidas iguales al elaborado con cartón corrugado | 104 |

ACRÓNIMOS

| | |
|----------|--|
| ANAPE | Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (España) |
| CMIC | Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción |
| CONACYT | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología |
| EC | Economía circular |
| EPS | Poliestireno expandido |
| ESR | Empresa socialmente responsable |
| GPPS | Poliestireno de uso general o estándar |
| HIPS | Poliestireno de alto impacto |
| MMARMRM | Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (España) |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| RCD | Residuos de la Construcción y Demolición. |
| REBus | Resource efficient business models (Recursos eficientes para Modelo de negocios) |
| SEMARNAT | Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| WWF | World Wide Fund Nature |

RESUMEN

La industria de la construcción, a nivel global muestra preocupación por los impactos medioambientales causados por esta actividad, por lo que constantemente se está buscando adoptar nuevos materiales que generen menor impacto al medioambiente y que tengan la capacidad de cumplir con al menos las 5R (reducir, reutilizar, reciclar, recuperar y reprocesar) esto de acuerdo con Greenpeace que estableció la guía ecológica de las 3R (reducir, reciclar, reutilizar), luego con el surgimiento de nuevos conceptos que se detallan en esta investigación como son responsabilidad social, sustentabilidad y desarrollo sostenible, se amplió la regla a 5R.

En el caso del poliestireno expandido o EPS, su impacto al medioambiente se encuentra presente desde su materia prima que está derivada de la extracción de petróleo. Se puede argumentar que en la industria de la construcción su utilización es de largo plazo, sin embargo, en un momento determinado será desechado y causará daños al medioambiente, debido a su ciclo de vida y a la dificultad para ser reciclado por razón de su tamaño y dificultad para transportarlo.

La presente investigación en su parte experimental, se orientó a la elaboración de un casetón para ser utilizado en losas nervadas sustituyendo el EPS por cartón corrugado, los resultados fueron positivos y satisfactorios, encontrando que la sustitución del material no impactó en su permeabilidad, resistencia a la carga y deformación, lo que hace la propuesta viable para su implementación a gran escala impactando de manera positiva en el cuidado del medioambiente por parte de la industria de la construcción.

Palabras clave: Técnica constructiva, losas nervadas, cartón corrugado, impacto medioambiental, recuperar, reutilizar, ingeniería civil, construcción.

ABSTRACT

The construction industry, at a global level, shows concern about the environmental impacts caused by this activity, which is why it is constantly seeking to adopt new materials that generate less impact on the environment and that have the capacity to comply with at least the 5Rs (reduce , reuse, recycle, recover and reprocess.

In the case of expanded polystyrene or EPS, its impact on the environment is present from its raw material, which is derived from oil extraction. It can be argued that in the construction industry its use is long-term, however, at a certain point it will be discarded and will cause damage to the environment, due to its life cycle and the difficulty of being recycled due to its size and difficulty in transporting it.

The present investigation in its experimental part, was oriented to the elaboration of a box to be used in ribbed slabs substituting the EPS for corrugated cardboard, the results were positive and satisfactory, finding that the substitution of the material did not impact on its permeability, resistance to the load and deformation, which makes the proposal viable for its implementation on a large scale, positively impacting the care of the environment by the construction industry.

Keywords: Construction technique, ribbed slabs, corrugated cardboard, environmental impact, recover, reuse, civil engineering, construction.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, genera grandes beneficios tanto económicos, de empleos y sociales, sin embargo, es una de las industrias que genera más daños al medioambiente si se toman en cuenta los procesos que implica desde la materia prima con que se generan los materiales, su transporte, los desechos producidos y en el último paso la demolición.

Por lo anterior, existe una preocupación en el sector para aminorar los impactos medioambientales, por ello la generación de propuestas orientadas a disminuirlos siempre son bienvenidas.

Cada día, la naturaleza experimenta afectaciones que, en menor o mayor plazo, afectarán al ser humano, la huella ecológica que cada persona y proceso industrial deja es innegable que está siendo registrada por la naturaleza, pero esto no es novedoso, en el camino de investigación y elección del tema se encontraron muchos ejemplos de impactos al medioambiente, pero el que más llamó la atención es el de la Civilización Maya.

Por mucho tiempo se ha especulado cual fue la razón del abandono de las ciudades que se construyeron durante 3,000 años, quedando abandonadas en medio de selvas. Una de las teorías que tiene validez por investigaciones en antropología, arquitectura e ingeniería civil es que en un momento dado enfrentaron una gran sequía. No habiendo grandes ríos como en las primeras civilizaciones humanas como Sumeria, Mesopotamia, China o Egipto; las civilizaciones mayas aprendieron a recolectar agua de lluvia. “Los chultunes fueron trascendentes en casi todos los

asentamientos prehispánicos; su construcción implicaba excavar una cisterna en forma de botellón. La captación se hacía a través de los techos y la conducción mediante canaletas de barro o piedra labrada en un área de captación de aproximadamente 5 m de diámetro formada por un piso aplanado de estuco el cual era una mezcla de piedra caliza cocida, cal y un pegamento orgánico extraído de un árbol endémico llamado localmente Holol en Petén; la boca y el cuello es la entrada circular por donde escurre el agua al depósito, los cuales estaban armados con piedra y recubiertos con estuco”. (Durán, 2010).

Los chultunes no fueron suficientes para abastecer de agua a la población y mucho menos para obtener cosechas, es así que de acuerdo con las teorías más recientes de la desaparición de la cultura Maya, ésta se dio por la deforestación producto de la construcción tanto de centros ceremoniales, de gobierno y casas, con materiales que utilizaban un gran número de árboles.

Tom Sever, arqueólogo experimentado en la cultura Maya, encontró que la quema de árboles era de gran impacto negativo al ambiente: “Tenían que quemar 20 árboles para calentar la piedra caliza que les servía para hacer apenas 1 metro cuadrado de cal que utilizaban como material para construir sus formidables templos, represas y monumentos” (Sever, citado por NASA Ciencia, 2009). Además, señala que de acuerdo con simulaciones realizadas la pérdida de árboles causó un aumento de temperatura de entre 3 y 5 grados centígrados y una disminución de entre el 20 y 30% de las precipitaciones.

Como se observa, el problema de deforestación y cambio climático es muy antiguo y en el caso de los Mayas hizo desaparecer una cultura más avanzada en su tiempo, en algunos aspectos de construcción que los propios europeos.

Por lo anterior, la investigación se decantó hacia la búsqueda de materiales que podían ser sustituidos en la industria de la construcción, encontrando el EPS y su utilización en losas nervadas. Así nació la idea de aportar en caso de que fuera

positiva la investigación experimental, una propuesta que tuviera como objetivo reducir el impacto mencionado, de aquí nace la idea de la sustitución del EPS por el cartón corrugado. Si bien ambos elementos tienen origen en materia prima que se extrae de la naturaleza, el primero se extrae de fuentes no renovables y por lo general por su alta constitución de aire y el espacio que ocupa no se recicla; el segundo proviene de la corteza de los árboles, sin embargo, su fabricación en su mayoría se realiza mediante la reutilización de cartón y papel, que tienen un ciclo de vida amplio (se pueden reciclar hasta 7 veces). En México la empresa Bio Pappel, maneja un total de 1.35 millones de toneladas de papel y cartón reciclado, salvando un total de 3.1 millones de árboles al año.

Por su parte, para el EPS, sobre todo el que se utiliza en fabricación de productos para alimentos y embalaje, se recicla poco; el problema es que el 57% de los productos de EPS son para la industria de la construcción. Con estos datos, se observó que si se utilizará el cartón corrugado en sustitución del EPS en losas nervadas, se estaría logrando una disminución muy significativa a la elaboración de productos con este componente.

El cartón corrugado como alternativa al uso de EPS, es la parte central de la investigación experimental, debiendo encontrar que las características de las losas nervadas, en específico las de permeabilidad, resistencia a la carga y deformación, no se vean afectadas por el cambio de material en su elaboración.

De ser comprobado que la alternativa cumple con estos requisitos, se está en posibilidad de entregar una investigación que pueda ser utilizada por la industria de la construcción para cambiar los materiales con que se elaboran las losas nevadas, contribuyendo a disminuir los efectos medioambientales producidos por los materiales utilizados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas medioambientales ocasionados por la actividad humana no son un tema de los últimos decenios, por el contrario, las personas han destruido la naturaleza con el paso de los siglos, terminando con ecosistemas completos para la construcción de lugares habitables para la especie humana.

El conocimiento científico para ser valioso, debe aportar desarrollo y mejores condiciones de vida no sólo para el ser humano, sino para todas las especies que habitan el planeta. La investigación científica debe implicar un alto grado de compromiso con la conservación, recuperación y cuidado de la diversidad biológica.

Una de las actividades que más impactan en el medio ambiente es la de la construcción de cualquier tipo, no sólo porque cada pedazo de tierra urbanizado y transformado por decirlo así en una plancha de cemento, se está deforestando, sino además porque para construir se utilizan un gran número de materiales que de manera directa o indirecta utilizan recursos naturales tanto renovables como no renovables.

La producción de desechos por parte del ser humano es cada día más alta, tanto orgánicos como inorgánicos. Una de las soluciones que a nivel personal y social se tienen para frenar en cierta medida el uso de recursos naturales es el reciclado como una de las medidas para lograr la sustentabilidad. A nivel global y entre naciones, se han generado compromisos para el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

La primera es la denominada Declaración de Estocolmo, firmada por los países miembros de la ONU en 1972, más tarde y en conjunto con ésta, se firma la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992, ambas como resultado de las Conferencias Mundiales sobre el Medio Ambiente. La Declaración de Estocolmo señala al medio ambiente como un derecho fundamental del ser humano que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar, por su parte en Río se da énfasis a lo que se denomina el desarrollo sostenible, “entendido comúnmente como el desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias.” (ONU, 1992,5). El término fue acuñado en la llamada Comisión Brundtland sobre desarrollo sostenible en 1987. El Brundtland Report fue el parteaguas a nivel mundial y fue la primera vez que se introdujo el término y concepto de *sustainable development* (desarrollo sustentable). “A partir de lo anterior, al decir desarrollo sustentable implica la satisfacción de las necesidades de las sociedades presentes, pero sin poner en riesgo las generaciones futuras[...] ya no sólo tenemos que preocuparnos por asignar racional y eficientemente los escasos recursos hacia fines alternos de utilización, sino que también lo tenemos que hacer sin degradar la base biofísica sobre la cual se erige todo el circuito económico.” (Escobar, 2007,4-5) Más tarde, aunque se usan a veces de manera indistinta los términos desarrollo sustentable y sostenible, se elige el segundo como el término más adecuado.¹

¹ El desarrollo sostenible está anclado a tres aspectos interdependientes que son economía, medio ambiente y sociedad. El desarrollo debe entonces ser soportable en lo ecológico, viable en lo económico y equitativo en lo social.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

A partir de la Conferencia de Río y para promover el desarrollo sostenible se generó un Programa denominado Agenda XXI para que cada país firmante aportara en lo legal y económico, las bases que generen en cada nación un desarrollo realmente sostenible.

Retornando a la teoría de la desaparición de la civilización Maya por cuestiones medioambientales, se decanta una primera pregunta de investigación que es:

¿Qué tan importante es que la industria de la construcción en general esté alienada a los objetivos de desarrollo sostenible?

La industria de la construcción genera contaminación y residuos sólidos urbanos, por tanto, debe estar involucrada en la búsqueda de mecanismos y acciones para fortalecer el desarrollo sostenible. Mors (2018), señala que un estudio realizado por el gobierno del Reino Unido mostró que la industria de la construcción influye en más del 47% de las emisiones Co₂ antropogénicas que son diferentes a las emisiones de Co₂ de la que es directamente responsable. Dichas emisiones se producen en diferentes etapas de la vida de una construcción que conforman el diseño, fabricación, distribución, montaje, uso y final de vida útil en remodelación o demolición. Otro dato es que, en los Países Bajos, la industria del concreto es el principal factor de influencia en la construcción, su transporte significa el 50% de emisiones de Co₂, mientras que en el total de emisiones la industria de la construcción es causante del 20% en términos de transportación.

De acuerdo con SEMARNAT, señala que en México la industria de la construcción produjo aproximadamente 6 millones de toneladas de residuos en promedio entre 2006 y 2012, el 80% del concreto se depositó sin reutilización.

La industria de la construcción ha estado transformándose de manera permanente o continua “Una de las áreas más importantes para la transformación se identificó para la adopción de nuevos materiales, herramientas y tecnologías... La

probabilidad de generar un impacto se presenta a través de las tecnologías de impresión 3D, materiales autorreparables y componentes de construcción prefabricados.” (Mors, 2018,9).

En lo particular, la industria de la construcción genera lo que se conocen como Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) que se componen de lo siguiente:

- a. Material de excavación (arcillosos, granulares y tepetatosos)
- b. Concreto (simple, armado, asfálticos)
- c. Elementos mezclados prefabricados y pétreos (fragmentos de block, tabique, adoquín, tubos, ladrillos, piedras, etc.)
- d. Otros (madera, cerámica, plásticos y plafón, yeso, muros falsos, materiales ferrosos, residuos orgánicos producto del despalme) (CMIC, 2013,11).

La Tabla No. 1 muestra de acuerdo con estos grupos los porcentajes de incidencia en la generación de RCD y los miles de toneladas que se producen de ellos anualmente en México.

La mayor incidencia está en el material de excavación seguido por el concreto, generando anualmente más de 6 mil toneladas de RCD anuales con un promedio de 25 mil toneladas diarias a nivel nacional, en el documento citado, se hace referencia a la estimación que sólo el 4% de los RCD que se generan son aprovechados el 3% en reciclaje y el 1% en reúso.

Es evidente que la industria de la construcción en su ciclo completo y en la generación de RCD durante la construcción, remodelación y/o demolición son agentes importantes de impacto negativo al medio ambiente, sin embargo, genera riqueza en todos los niveles socioeconómicos en las sociedades (desde la gran empresa constructora hasta el humilde albañil).

De acuerdo con una Infografía publicada por ProMéxico en 2018, la industria de la construcción es la tercera actividad económica con mayor capacidad de generación de empleo, México es el principal proveedor de yeso a Estados Unidos y el segundo mayor productor de cemento en América Latina.

Tabla No. 1
Clasificación y Estimación de los RCD

| Grupo | Subproducto | Porcentaje Incidencia | Participación (Miles Ton) |
|--|---|--|---------------------------|
| Material de Excavación | Material para Relleno. | 39 | 2,381 |
| Concreto | Concreto: Bases Hidráulicas, Concretos Hidráulicos, Adocretos, Adopastos, Bordillos, Postes de Cemento-Arena, Morteros. | 24 | 1,482 |
| | Asfalto: Carpetas Asfálticas. | 0.3 | 15 |
| | Elementos Mezclados Prefabricados y Pétreos | Piedra, Block-Tabique, Tabicones Mortero, Adoquines, Tabicones, Tubos de Albañal, Mamposterías, Tabiques, Ladrillos. | 24 |
| Otros | Yeso, Muro Falso Madera Cerámica Plástico Metales Lámina Vidrios | 12 | 746 |
| RSU | Papel y cartón RSU | | |
| Residuos Orgánicos Producto de Despalle | Hojas, Ramas, Troncos y Raíces. | | |
| Totales | | 100 | 6,080 |

Fuente: CMIC, 2013. P. 18.

La importancia de la industria de la construcción para el crecimiento económico de las naciones, debe considerar el avance científico y tecnológico para reducir el impacto al medio ambiente y formar parte importante de las estrategias de desarrollo sostenible.

Habiendo mencionado lo anterior, es importante preguntar:

¿Qué materiales de construcción pueden modificarse o sustituirse por otros más amigables con el medio ambiente?

Aquí cabe señalar un aspecto del consumo en la industria de la construcción, que es lineal, es decir comienza con la excavación de la materia prima, con ella se producen y ensamblan distintos elementos que luego se usan, demuecen y depositan en vertederos. “Contrariamente a un consumo lineal, la naturaleza utiliza un enfoque circular, que suministra nutrientes a los organismos que permiten el crecimiento que al final de la vida se reciclan y se vuelven a ingresar como nutrientes para continuar el ciclo”. (Mors, 2018,6).

Con el ejemplo de este ciclo natural, existe una propuesta para que la construcción implemente un ciclo circular como el de la naturaleza, así lo refiere Mors (2018) señalando que se puede dar una indicación de circularidad revisando la contribución del enfoque 9R que en español contiene los siguientes elementos: rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, renovar, remanufacturar, reciclar, recuperar.

El novedoso concepto 9R en la industria de la construcción surge de la denominada Economía Circular (EC). De acuerdo con la Fundación Ellen MacArthur (2015) citada por Mulder y otros (2020). La EC es un modelo económico “que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximos en todo momento, en oposición al modelo tradicional lineal basado en el “hacer-usar-desechar”. Para ello aplica el diseño de la cuna a la cuna y la eco-efectividad. Según estos conceptos, los sistemas industriales y los productos son diseñados para mantener la calidad y productividad de los materiales a través de los sucesivos

ciclos de vida. [...] La transición hacia la circularidad se basa así en tres principios: i) eliminar los residuos y la contaminación desde el diseño; ii) mantener los productos y materiales en uso; iii) regenerar los sistemas naturales.” (CEPAL, 2020, 13).

Mors (2018), rescata el concepto de EC y un enfoque 9R del Proyecto Resource efficient business models (REBus), organización que promueve la economía circular en la Unión Europea, el sitio oficial es www.rebus.eu.com, dentro de esta página se encuentra un REBus para la construcción denominado Lessons Report.

El concepto de modelos eficientes de negocio dentro de la EC se encuentra avanzado en el área de reciclaje de papel y otros desperdicios de tipo industrial, sólo que en ello se utiliza una metodología 5R (Reducir, reutilizar, reciclar, recuperar y reprocesar). En cambio, en la industria de la construcción se puede llegar por el tipo de material hasta las 9R mencionadas.

La reutilización, reciclado, recuperación y reprocesamiento del cartón corrugado, puede integrarse a la EC en materia de construcción, con el uso de losas nervadas que sustituyan al Poliestireno Expandido (EPS) por cartón corrugado.

De manera general, el EPS es un plástico que ha sido expandido por el efecto del calor por un agente espumante.

“La base del poliestireno expandible es monoestireno, un líquido cuyas moléculas simples están disociadas, y mediante un proceso de polimerización, se estructuran para dar origen a macromoléculas de Poliestireno Expandible” (Vivanco, 2003, 1).

El EPS proviene de la petroquímica, es decir, es un producto derivado del petróleo. Actualmente el 6% de la producción petrolera se dedica a la fabricación de productos químicos y plásticos de acuerdo con la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (ANAPE) de España. En la industria de la construcción el

EPG es el contenido principal de las losas nervadas o paneles. Sus ventajas contra materiales de construcción para techo y recubrimientos son excelentes, de acuerdo con el ANAPE entre sus cualidades están: aislamiento térmico, ligereza, amortiguación de impactos, resistencia mecánica, resistencia a la humedad, facilidad de manipulación, versatilidad, facilidad de conformado, higiénico, cien por ciento reciclable y moderado impacto ambiental.

El EPS y su uso en la construcción, ciertamente ha representado un avance en la reducción del impacto ambiental por esta actividad humana, sin embargo se puede reducir aún más el impacto (sobre todo en la demolición y producción de desechos de la construcción donde el EPS por lo general no es transformado y se une a la contaminación que se genera por este mismo producto transformado en envases diversos), de la construcción al medio ambiente, es decir, sin generar un nuevo producto derivado del petróleo, se utiliza uno que ya está fabricado y que puede reciclarse como es el cartón corrugado, manteniendo los mismos beneficios que con el uso del EPS.

El problema de investigación se centra en el cambio de materia prima en las losas nervadas, del EPS al cartón corrugado:

Problema de investigación:

¿Es el cartón corrugado una alternativa al uso de Poliestireno Expandido (EPS) en losas nervadas, conservando sus características de permeabilidad, resistencia a la carga y deformación y podrá significar una alternativa innovadora para disminuir en parte el impacto ambiental causado por la industria de la construcción?

El problema de investigación está planteado en dos vertientes, una es de tipo teórico y otra de tipo práctico. La primera tiene que ver con el estudio de las propiedades del poliestireno expandido o EPS y en general la contaminación que se genera con su fabricación y uso hasta su desecho. La segunda vertiente, es la fabricación de

losas nervadas con cartón corrugado y la corroboración de que su resistencia es igual o mayor a las que contienen EPS.

2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

General

Determinar si el cambio de materia prima en losas nervadas sustituyendo el EPS por cartón corrugado reciclado, corresponde a una innovación en la industria de la construcción e impacta en la disminución de contaminantes generados por la misma conservando las características de las losas nervadas de EPS con el cartón corrugado reciclado.

Específicos

- A) Proponer principios y directrices para la elaboración y diseño de losas nervadas cimbradas con casetones sustituyendo el EPS por cartón corrugado reciclado y observando si conserva características iguales o menores en cuanto permeabilidad, resistencia a la carga y deformación.
- B) De ser factible la elaboración de losas nervadas con cartón corrugado, realizar una propuesta para su fabricación e implementación en el mercado para su adquisición y uso en la industria de la construcción.

3. ALCANCES Y METAS

Se tiene como objetivo a partir de la fabricación y pruebas a losas nervadas elaboradas con cartón corrugado sustituyendo al EPS, demostrar que son factibles investigando experimentalmente que cumplen al igual que el EPS con

características de permeabilidad, resistencia a la carga y deformación, recomendando su uso e implementación en la industria de la construcción y con ello, disminuir la carga de contaminación al medio ambiente causada por esta actividad.

4. JUSTIFICACIÓN

Los problemas medioambientales como ya se estableció no pertenecen al mundo contemporáneo, pero sí en el siglo pasado y éste, se ha recrudecido la explotación de recursos naturales por parte del ser humano para sostener un estilo de vida propenso al consumo y a la generación de desechos de manera constante e indiscriminada.

La industria de la construcción es una de las más contaminantes, desde el proceso de creación de los materiales, como por su transporte, construcción y desechos.

Las empresas socialmente responsables (ESR), incluidas las del sector de la construcción, se definen de acuerdo con el Portal Responsabilidad Social es “aquella que fundamente su visión y compromiso en políticas, programas, toma de decisiones y acciones que benefician a su negocio y que inciden positivamente en la gente, el medio ambiente y las comunidades en que operan, más allá de sus obligaciones, atendiendo sus expectativas” (www.responsabilidadsocial.net , 2021).

Tanto los empresarios de esta industria como estudiantes e investigadores del área de la ingeniería civil y la arquitectura, con un enfoque ético, deben participar en la generación de propuestas y acciones que influyan en la disminución en cualquier escala de la contaminación que se genera, esto es responsabilidad social.

En la formación de maestría y doctorado, es importante impulsar la investigación científica, la cual es impulsada por las instituciones de educación superior en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) quienes

invierten recursos humanos, económicos, tecnológicos y de infraestructura entre otros para generar una comunidad científica en todos los ámbitos del saber humano que repercute directamente en la generación de conocimiento y riqueza para México. Esto se logra con programas posgrado que inciden en la formación y egreso de perfiles adecuados para cada área de estudio las cuales tienen líneas de investigación específicas, pero al final todas se interrelacionan en un macrocosmos de generación de ciencia. Es en los posgrados, donde se puede encontrar la responsabilidad social personal y de comunidad, la creatividad e innovación y la guía de expertos para proponer temas de investigación que coadyuven a mejorar en este caso el medio ambiente, además de innovar en la implementación de nuevos materiales de construcción.

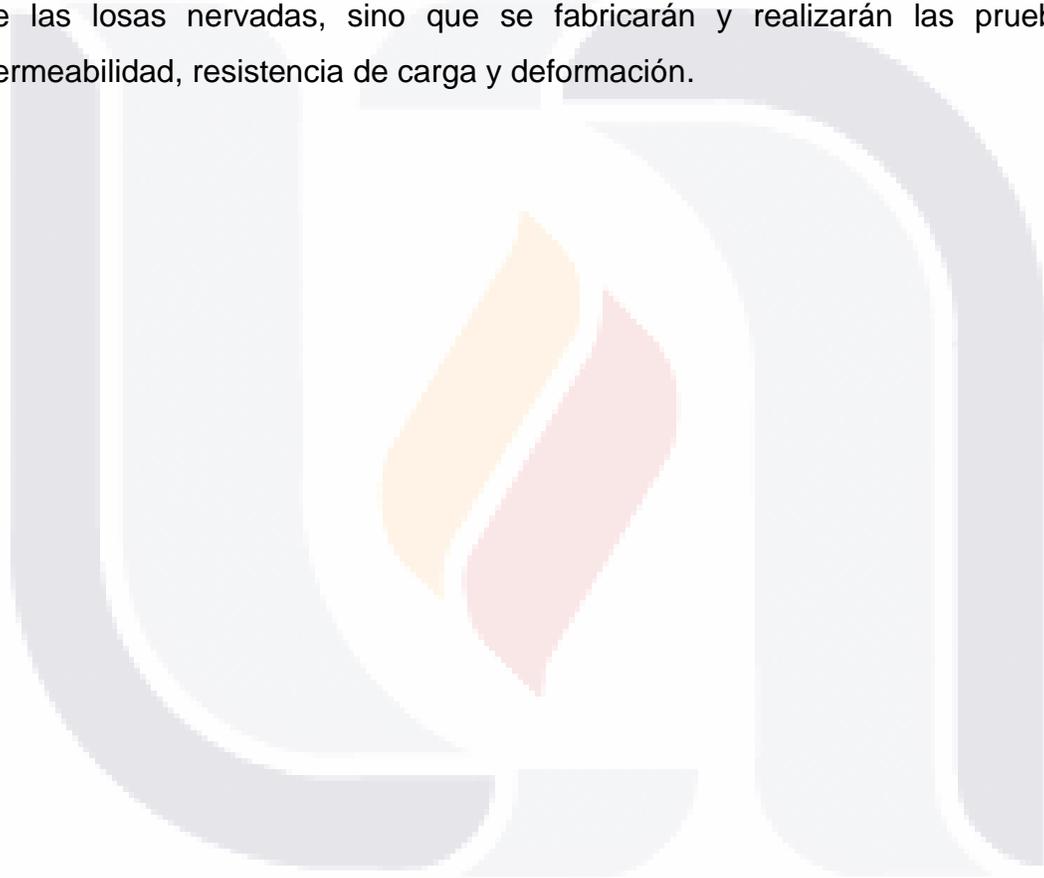
Al ser el EPS un plástico, se incluye dentro de los productos que generan contaminación, si la industria de la construcción fuera un supermercado, ya le habrían prohibido usarlo. Esta visión es la base de la investigación y la manufactura, como objetivo final, de una losa nervada que utilice materiales reciclables y deje a un lado el plástico que tiene menor virtud en este aspecto y un grado mayor de contaminación.

No se reduce la visión al reconocer que el cartón corrugado surge de un proceso de deforestación, sin embargo, su reciclado es mayor en cantidad de veces que puede utilizarse, hecho que salva la vida a miles de árboles; también se considera carbón neutro ya que los árboles almacenaron Co_2 durante su vida útil; mientras que el plástico proviene de un recurso natural no renovable y su descomposición es más tardada.

La cultura del reciclaje en su círculo virtuoso comienza con recicladores o “pepenadores” que en pequeña escala realizan un trabajo encomiable, las grandes empresas que manejan políticas de reciclado de empaques contribuyen también en gran medida a este proceso, si ya existe suficiente reciclado de cartón corrugado ¿por qué no utilizarlo para mejorar las prácticas en la industria de la construcción?

Los beneficios que aporta la investigación se establecen en que, de ser comprobada la hipótesis de investigación se estará en condiciones de elaborar losas nervadas con cartón corrugado impactando de manera positiva al cuidado del medioambiente y esto llevará a realizar un análisis teórico de dicho impacto.

La aplicación es totalmente práctica, ya que no sólo se teoriza sobre la elaboración de las losas nervadas, sino que se fabricarán y realizarán las pruebas de permeabilidad, resistencia de carga y deformación.



CAPÍTULO II

REFERENTES TEÓRICOS

2.1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

La construcción ha estado presente desde la primera gran revolución que experimentó el ser humano en su modo de vida, dado con la aparición de la agricultura y con ello el sedentarismo de la especie. Son numerosas las construcciones realizadas en lo que se llama el mundo antiguo, entre ellas se encuentran tanto en construcciones de tipo religioso, edificios para albergar el gobierno de los pueblos y lugares para habitar. En la antigüedad los principales materiales de construcción eran la madera, la piedra, la arcilla, la piel de animales y más tarde el hierro; más tarde se utiliza la cal, el vidrio por mencionar sólo algunos. Casi todos eran materiales que no requerían de un proceso de transformación o el que se llevaba a cabo era sencillo.

La humanidad para desarrollarse desde este tiempo hasta la actualidad, ha tenido la necesidad de construir, aunque también se construye por placer y arte, es decir, el ser humano no se ha contentado con construir sólo lo que necesita para la supervivencia; la construcción que dio paso a la arquitectura se convirtió en arte y en un símbolo de estatus tanto para reinos, imperios, países como para las personas.

En esta carrera por el arte combinado con la necesidad psicológica del estatus, nace la construcción como industria, orientada desde tiempos antiguos a realizar con calidad las obras tanto pequeñas como enormes, tanto así que muchas de ellas siguen en pie como la Pirámides de Egipto, la Muralla China, el Partenón en Grecia, el Coliseo en Roma, las Pirámides de Teotihuacan, Región Maya y Machu Pichu por nombrar sólo algunas grandes construcciones.

El progreso de la humanidad, pero sobre todo del poder está basado en mucha parte en la construcción, por ejemplo, los romanos dominaron por muchos siglos el mundo occidental en base a la construcción de caminos y puentes para comunicarse con los territorios que formaban el vasto imperio, por algo existe el dicho “todos los caminos conducen a Roma”.

Se habló en la justificación de la investigación de como una gran cultura como la de los Mayas se terminó por hacer uso indiscriminado de los recursos naturales enfocados a la construcción, en esta parte se revisa cuál es en la actualidad el impacto al medio ambiente de la industria de la construcción.

2.1.1 Impacto ambiental y huella ecológica

Cada actividad realizada que impacte en el medio ambiente ya sea positiva o negativamente deja una huella. El concepto de huella ecológica está ligado a la sustentabilidad y sostenibilidad. En 1996, William Rees propuso contar con indicadores para la sustentabilidad e ideó el indicador de huella ecológica que permitiera medir el grado de impacto que ejerce cierta comunidad humana, persona, organización, industria, país, región y a nivel mundial sobre el medio ambiente.

Bajo este indicador se determina que cada habitante del planeta tendría 1.8 hectáreas de tierra para satisfacer consumos y que el hábitat absorber todos los desechos de acuerdo con el cálculo hecho por World Wide Fund Nature (WWF) en

el 2012 en su informe de Planeta Vivo. Señala también que en el 2020 se necesitarían 1.75 planetas para satisfacer las necesidades de consumo y para el 2050, 2.5 planetas.

“Cuando utilizamos más de 1.8 hectáreas se rebasa la capacidad del planeta para reemplazar lo que consumimos y desechamos. A esto se le conoce como déficit ecológico, que es la diferencia entre el área disponible (capacidad de carga o biocapacidad) y el área consumida (huella ecológica) en un lugar determinado. Eso se debe inicialmente a la sobreexplotación del capital natural y/o la incapacidad de regeneración global y/o local”. (SEMARNAT, 2012,7)

Actualmente en internet se pueden encontrar calculadoras de huella ecológica personal, al tener acceso a esta herramienta, las personas concientizan si están consumiendo más de lo que es debido y cuál es la huella ecológica que están dejando.

Con respecto a algunas cifras, el Informe de Planeta Vivo de la WWF en el 2020, señala que la huella ecológica es dispar por países de acuerdo a los estilos de vida y patrones de consumo de las personas, así los países llamados de primer mundo o con mayores recursos económicos para el 2016 era de 5 o más hectáreas por persona, otros países desarrollados como España, Portugal China y Japón cuentan con un índice de 3.5 a 5 hectáreas por persona. En el caso de México, en promedio las personas consumen de 2 a 3.5 hectáreas por persona, es decir mayor a las 1.8 hectáreas señaladas por el índice para cada persona.

No existe información estadística sobre la huella ecológica en específico de la industria de la construcción, por lo que se revisan en general los impactos ambientales que genera.

La construcción, señala Enhassi y otros (2014), no es un proceso amigable con el medio ambiente ya que las operaciones como la construcción producen un efecto

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

en masa directa e indirectamente en el entorno, estudiosos citados por estos autores sostienen que la construcción es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias ya que cualquier proceso de construcción requiere diversas maquinarias y recursos naturales generando muchos contaminantes como contaminación por ruido, contaminación atmosférica, de agua, gases dañinos y polvo.

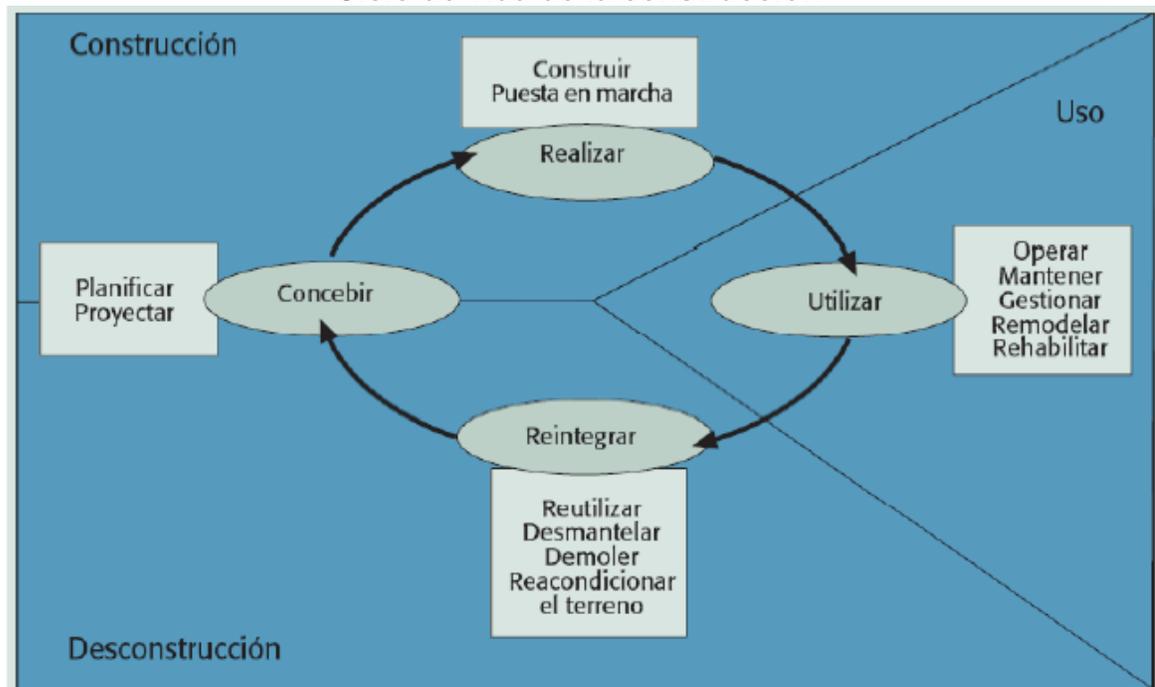
Cervantes y Ramírez (2016, 95) señala que “los impactos ambientales directos resultados de la construcción y operación de las edificaciones incluyen emisiones de gases de efecto invernadero y otras emisiones atmosféricas relacionadas con el consumo de energía, consumo y descargad de agua, impactos relativos a los materiales de construcción, residuos sólidos de las diferentes etapas del ciclo del inmueble y calidad de aire en interiores. Los impactos secundarios suelen relacionarse con los ciclos de vida de los productos de la edificación, el desarrollo de infraestructura y los sistemas de transporte”

Asimismo, señalan que en México las edificaciones son responsables del 17% del consumo total de energía, 5% del consumo de agua, 25% de la electricidad, 20% de dióxido de carbono y 20% de los deseos generados.

Otras estadísticas señalan que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales que se emplean, el 40% de la energía y el 50% del total de los residuos generados. (Arenas, 2008).

De las estadísticas se infiere la importancia de que el sector de la construcción sea uno de los involucrados más activos en las propuestas para disminuir el impacto ambiental generado por la actividad humana. Para lo anterior, se debe clarificar que las construcciones tienen un ciclo de vida, es decir, el impacto al medio ambiente no sólo se genera cuando se construye. La Figura No. 1 especifica el ciclo de vida de la actividad de la construcción.

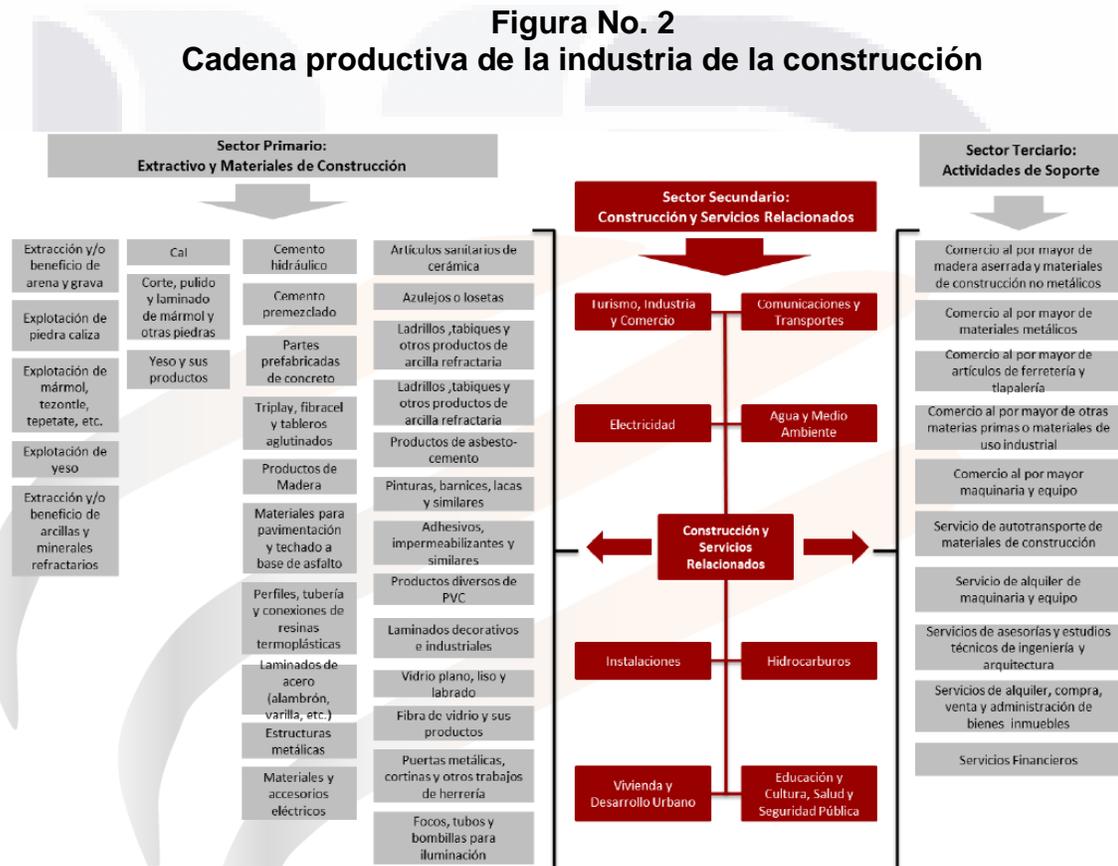
Figura No. 1
Ciclo de vida de la construcción



Fuente: García y Ainchil (2008,7)

El ciclo de vida de un proyecto de construcción inicia en la extracción de la materia prima y su preparación, el siguiente paso es la transformación, luego la fusión de materiales, el triturado y moldeo es el siguiente paso para obtener productos acabados. El transporte es el paso final de la cadena inicial de los materiales de la construcción, ya con los materiales está la puesta en marcha de las obras, su uso y mantenimiento y finalmente la demolición.

La CMIC (2013) organiza la cadena productiva de la construcción de acuerdo a los sectores que participan, como se puede observar en la Figura No. 2.



Fuente: CMIC (2013).

Es una cadena muy amplia de participación de los tres sectores productivos, lo que implica un alto impacto al medio ambiente por cada una de las actividades por separado y luego todas en su conjunto.

Desde la concepción de un proyecto de construcción inicia la responsabilidad social de quien lo ejecuta, pues en esta fase se definen materiales, al seleccionar un tipo

de material específico se está determinando qué materia prima deberá extraerse para la construcción y cuáles materiales para obtenerlos, tienen que pasar por un proceso de conversión de materia prima a producto, generando aquí también impactos importantes al medio ambiente.

En las fases de realización, utilización y reintegración también existe deterioro ambiental, ya señalado en párrafos anteriores. Los impactos de la industria de la construcción no ocurren sólo en el momento en que ésta se lleva a cabo sino que comprenden las diversas fases de la construcción, producción de desechos, explotación u operación y demolición. Si bien en México se solicitan para iniciar una construcción los llamados estudios de impacto ambiental, éstos no toman en cuenta el impacto real al ambiente producto de una edificación que inicia desde el momento en que se reduce en muchos casos el espacio donde ya existe un ecosistema o bien si no existe, puede tratarse de terrenos o áreas sin uso en los que al menos existe maleza. Luego cuando se inicia la construcción los impactos se generan desde las fábricas de acero y cemento, hasta la transportación de los materiales de construcción, más tarde el desecho o sobrante de la misma. Aquí todavía no termina el impacto, sino que sigue durante la vida útil de la construcción de que se trate, pues al utilizarla se gastará energía y agua principalmente; finalmente, la demolición de una obra genera otra vez desechos que siguen atentando contra el medio ambiente. A esta explicación se le conoce como ciclo de vida de una construcción.

El impacto ambiental se contrapone a la parte económica en la industria de la construcción ya que según datos de la organización ProMéxico (2018) la industria de la construcción y sus materiales en el país para el 2017 generaban casi 600 mil empleos directos siendo la tercera actividad económica con mayor capacidad de generación de empleos en más de 8 mil empresas generando en producción más de 420 mil millones de pesos, constituyendo el 7% del PIB nacional y el 24% del mismo en el sector secundario.

2.2 LA CONSTRUCCIÓN Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y SOSTENIBLE

Los términos sustentable y sostenible a menudo se utilizan como sinónimos sin serlo, la explicación está en la historia de la defensa internacional del medio ambiente, inicialmente se utilizaba sólo el término sustentable cualquier evento internacional organizado por la ONU para la preservación del medio ambiente realizadas por la ONU, señalan López y otros (2005) que fue en 1980 cuando en la Estrategia Mundial para la Conservación se incluyó una sección denominada “Hacia el desarrollo sustentable” en la que se identificaban las causas de la pobreza y destrucción de los hábitats entre otros; por lo que se urgía a los países a reajustar las inequidades aplicando una economía más dinámica para estimular el crecimiento económico, lo que se conoce como el Triángulo de Nijkamp que se muestra en la Figura No. 2

Figura No. 3
Triángulo de Nijkamp



Fuente: Zarta (2017, 6)

El triángulo fue presentado en 1990 en la conferencia anual sobre desarrollo económico del Banco Mundial donde el economista holandés Peter Nijkamp sintetiza el concepto de sustentabilidad, relacionando de manera gráfica el

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

crecimiento económico, la equidad y la sustentabilidad ambiental lo que da lugar al desarrollo sustentable en el medio del triángulo. Se pensó entonces que el desarrollo sustentable se logra cuando los tres objetivos son alcanzados de manera simultánea y en armonía.

De esta manera, la sustentabilidad puede ser entendida de acuerdo con Zarta (2017,12) como “la producción de bienes y servicios, donde se satisfagan las necesidades humanas y se garantice una mejor calidad de vida a la población en general, con tecnologías limpias en una relación no destructiva con la naturaleza, en la cual la ciudadanía participe de las decisiones del proceso de desarrollo, fortaleciendo las condiciones del medio ambiente y aprovechando los recursos naturales dentro de los límites de la regeneración y el crecimiento natural.”

La sustentabilidad es de acuerdo con lo anterior un proceso vivo y continuo que involucra tres aspectos, trasladándolos a la industria de la construcción, como se señalaba en párrafos anteriores, ésta forma parte importante del desarrollo y crecimiento económico de los países, sólo se debe equilibrar con la equidad y el medio ambiente a partir del uso de las tecnologías para disminuir el uso de recursos naturales y la emisión de gases y otros elementos tóxicos para el ambiente.

Una explicación de cómo los términos se cruzan y entrelazan pero tienen ópticas distintas, lo ofrece Gutiérrez (2007, 57), quien señala que cuando se incorporaron aportaciones de los movimientos ambientalista, social y científico a la cuestión del desarrollo, la sustentabilidad debe ser durable, ir hacia el futuro, es decir, hacer de la sustentabilidad un hecho que se sostenga en el tiempo y más allá de las políticas que están a favor de continuar arrasando a la naturaleza para cumplir los caprichos y exigencias de aquellos a quienes no les importan las generaciones futuras.

La acepción sostenibilidad fue institucionalizada por primera vez en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en 1992.

El desarrollo sostenible, de acuerdo con el Blog electrónico de la SEMARNAT se entiende como aquel que reúne tres aristas interdependientes: economía, medio ambiente y sociedad, lo que señala se traduce en desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente, si observamos el Triángulo de Nijkamp es básicamente el mismo concepto.

A estas aristas se les denomina dimensiones básicas de la sostenibilidad y en ocasiones se incluyen otras dimensiones como son la institucional o política la educativa, la geográfica y la cultural.

A partir de la toma de conciencia por parte de la mayoría de las naciones de que la herencia más importante a las nuevas generaciones es un medio ambiente con menor deterioro, los países miembros de la ONU elaboraron y aprobaron los denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en 2015 en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible y generaron un documento que es la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y donde se especifican 17 ODS con 169 metas que al realizarlas se incide en el combate a la pobreza, la mejora de la calidad de vida y del medio ambiente.

El ODS No. 9 se refiere a la innovación e infraestructura, en la meta 9.4 señala “De aquí al 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales” (ONU, 2015)

El desarrollo sostenible es obvio que implica al ramo o sector de la construcción, Ramírez (2002,30), define a la construcción sostenible “como aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales.”

Cuevas y otros (2015, 6), señalan que “La construcción sustentable aspira a satisfacer las necesidades de vivienda, entornos de trabajo e infraestructuras sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. Incorpora elementos de eficiencia económica, desempeño ambiental y responsabilidad social y contribuye en mayor medida cuando considera la innovación técnica y la posibilidad de transferir resultados.”

De esta afirmación se desprende que la innovación en los materiales de construcción como es la propuesta de utilizar cartón corrugado reciclado en la fabricación de losas nervadas, es un proceso que está alineado con la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente.

En México, el gobierno respondiendo al desarrollo sostenible en las edificaciones aprobó la norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 que trata sobre la edificación sustentable y los criterios y requerimientos ambientales mínimos.

Esta norma en su introducción señala que las tendencias de diseño, el uso y materiales y métodos de construcción incrementan el costo y la escasez de materiales y recursos naturales lo que representa una presión a la calidad ambiental local y global, aunado al consumo de agua y energía consecuencia de un mal diseño lo que lleva a repercusiones económicas y ambientales.

Una edificación sustentable está definida por la norma y “Es la que a lo largo del ciclo de vida cumple con las especificaciones establecidas en la presente norma mexicana, en materia de suelo, energía, agua, materiales, residuos, calidad ambiental y responsabilidad social” (SE, 2013, 12).

Entre las especificaciones con respecto al uso de materiales en las edificaciones, señala entre otros aspectos que al menos el 50% del material utilizado puede ser reciclable, comprobar con la información de los productos que el menos el 10% sea reutilizado y/o reciclado, el desperdicio de material no debe exceder el 10% del total utilizado.

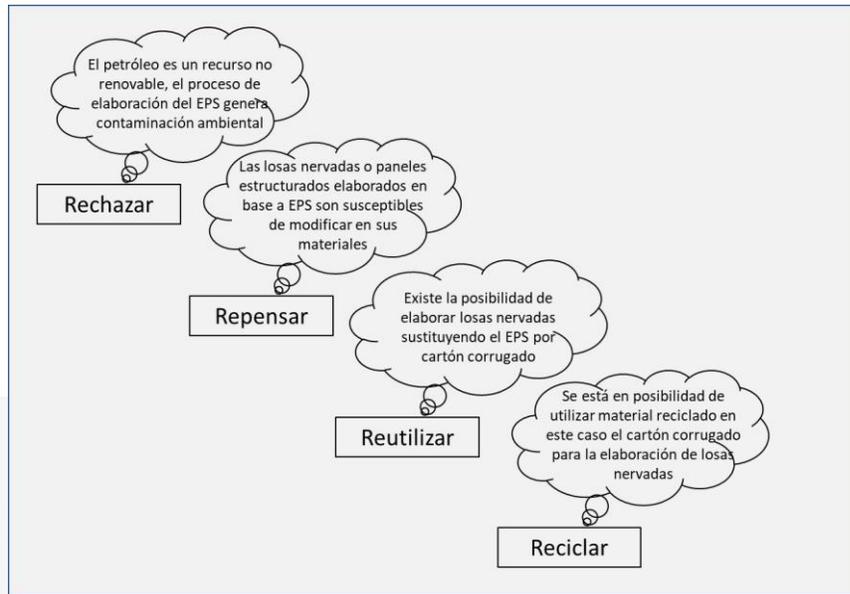
2.3 LAS 9R COMO EJERCICIO PARA LA PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DEL EPS POR CARTÓN CORRUGADO EN LOSAS NERVADAS

De acuerdo con la propuesta de economía circular, el proceso de innovación para el uso de materiales con menor impacto ambiental comienza con rechazar, repensar y reducir, luego se llevan a cabo procesos que son reutilizar, reparar, renovar para al final remanufacturar, reciclar y recuperar.

El proceso de sustitución referido inició con rechazar las losas nervadas fabricadas con EPS, si bien son una alternativa que reduce en mucho la extracción de piedra y la emisión de gases por el proceso de producción del tabique, por ejemplo; no deja de ser un producto que se fabrica en base al petróleo como materia prima y aunque la industria de la construcción no es la que más lo consume (su consumo más amplio está en los empaques y losa desechable); la innovación y mejora de materiales siempre es una buena alternativa en cualquier campo.

Repensar fue el proceso que me llevó a plantear otro material ya producido y listo para ser reciclado como lo es el cartón corrugado ya producido y desechado, lo que llevaría a reducir el uso de EPS y por tanto de petróleo como materia prima.

FIGURA NO. 4 PROCESO CIRCULAR PARA LA INNOVACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura No. 4, se plantea cómo fue el proceso de la propuesta que se realiza en la presente investigación.

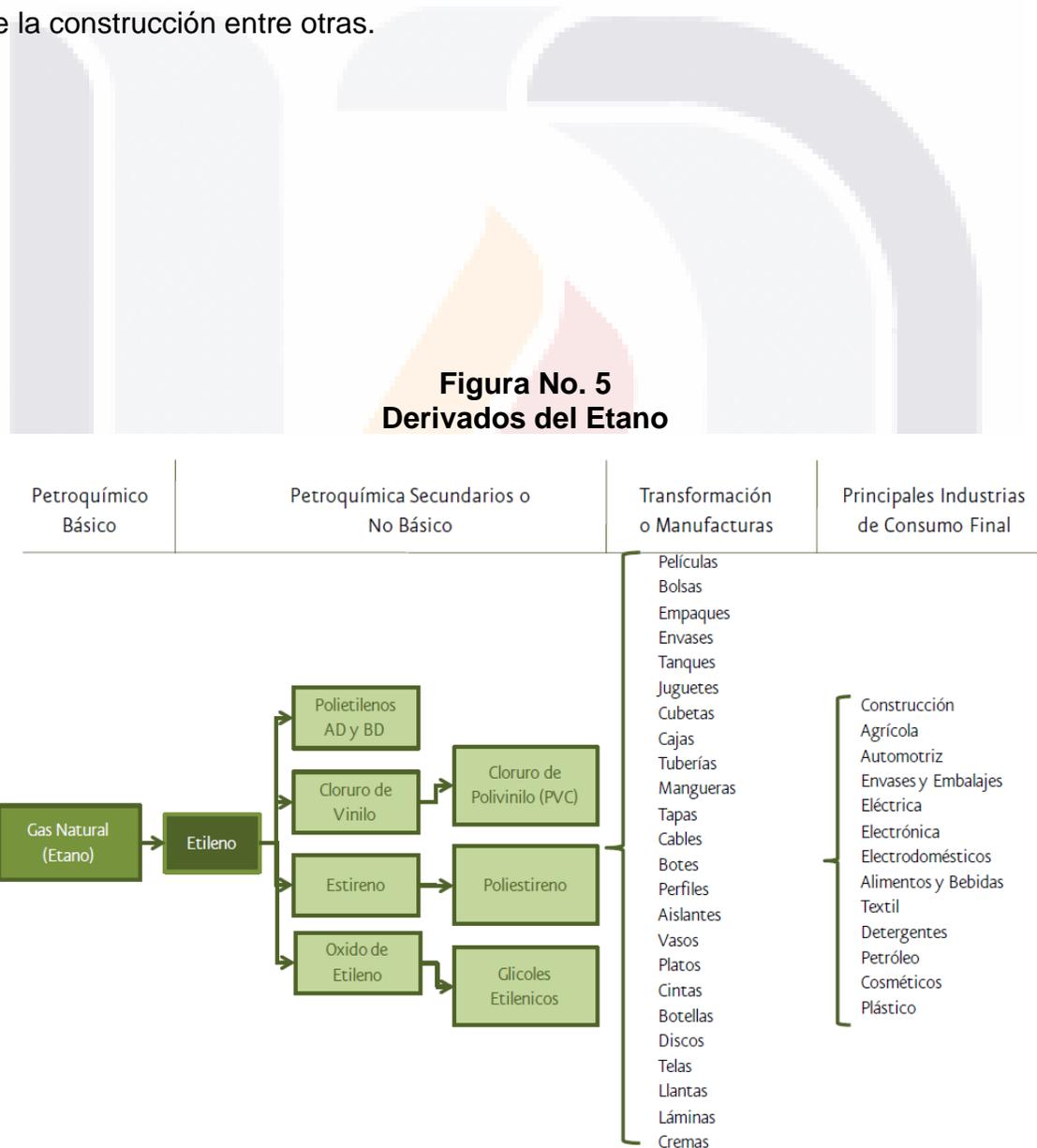
En este caso, se pusieron en marcha cuatro de los nueve procesos de las 9R de la economía circular.

2.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

El siglo XIX trajo consigo el uso del petróleo para diversos fines, la ciencia química jugó un papel importante en transformación de este recurso no renovable dando lugar a la petroquímica, actividad industrial en la que la materia prima principal es el petróleo, sus gases asociados y el gas natural. La petroquímica aplica procesos de transformación físico-químicos y se obtienen productos que se usan para insumos finales llamados productos petroquímicos. La petroquímica nace aproximadamente en 1945 y desde ahí a la fecha es una fuente importante de materiales para productos que se usan cotidianamente.

El gas natural o etano es el petroquímico básico para la producción de etileno, el proceso secundario produce a su vez estireno y de éste surge el poliestireno, la siguiente figura muestra los principales derivados del etano, sus transformaciones, la manufactura y el consumo final.

Se observa en la figura No. 5 que el producto que se produce con el estireno es el poliestireno con el cual se realizan un sinnúmero de productos y está ligado a la industria de la construcción entre otras.



Fuente: Gobierno de México (S/A, 2).

El estireno fue desarrollado por primera vez por Bonastre en 1831 a partir de la resina de árbol del ámbar. En 1839 Simon fue el primero en describir al polímero y dio su nombre, para 1925 se comenzó el proceso de producción industrial del poliestireno y se termina de generar en Alemania en 1930 en Estados Unidos se comenzó a fabricar en 1938.

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MMAMRM) del Gobierno de España “El poliestireno pertenece al grupo de termoplásticos estándar, que también incluye el polietileno, el polipropileno y el cloruro de polivinilo. Por sus propiedades especiales, el poliestireno se puede utilizar en una gama amplia de aplicaciones” (MMAMRM, 2009,59)

De acuerdo con el Ministerio español, el nivel de consumo del poliestireno para el año 2000 se consumía en un promedio de 16.7 millones de toneladas al año.

Existen tres tipos de poliestireno que son:

- Poliestireno de uso general o estándar (GPPS)
- Poliestireno de alto impacto (HIPS)
- Poliestireno expandible (EPS)

2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y FÍSICO QUÍMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

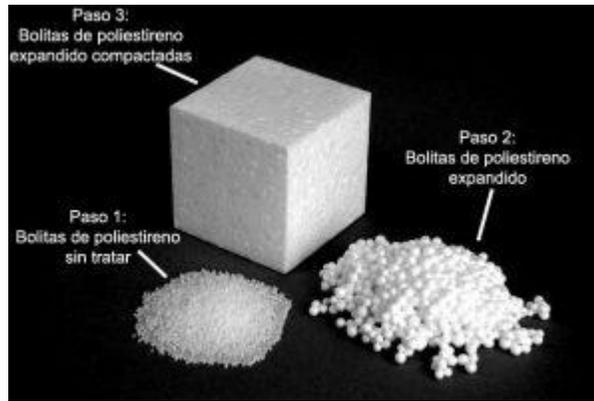


Figura No. 6 Composición del poliestireno expandido EPS

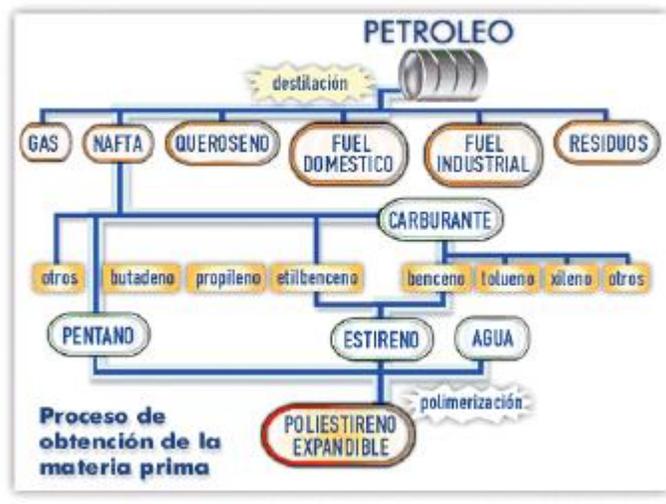
Fuente: <https://www.embalajesterra.com/blog/poliestireno-expandido-mercancias/>

El poliestireno expandido como producto es una espuma rígida de color blanco, constituida por un número indeterminado de celdas cerradas solidariamente apoyadas y termosoldadas. Muestra facilidad de corte y es de baja densidad.

La polimerización del estireno requiere una pequeña cantidad de un iniciador como es un peróxido que opera para generar un radical libre que se une a una molécula de monómero y forma un radical libre más grande a su vez, éste se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. El proceso en cadena finaliza con la combinación de dos radicales.

El llamado agente expansor es el n-pentano y el iso-pentano que son dos isómeros derivados del petróleo añadidos a la polimerización del estireno para obtener el EPS. El pentano es un componente del petróleo. Por su parte, el monómero estireno es un líquido oleoso, transparente utilizado en la elaboración de plásticos, pinturas, cauchos sintéticos, revestimientos y resinas. (Foronda y Palacios, 2017, 20-22).

**Figura No. 7
Obtención del Polímero expandible (1)**



Fuente: Martínez y otros (2012,9)

Figura No. 8
Obtención del Polímero expandible (2)



Fuente: Martínez y otros (2012,9)

El poliestireno expandido de acuerdo a sus características es estable con muchos productos químicos, de acuerdo a la siguiente tabla:

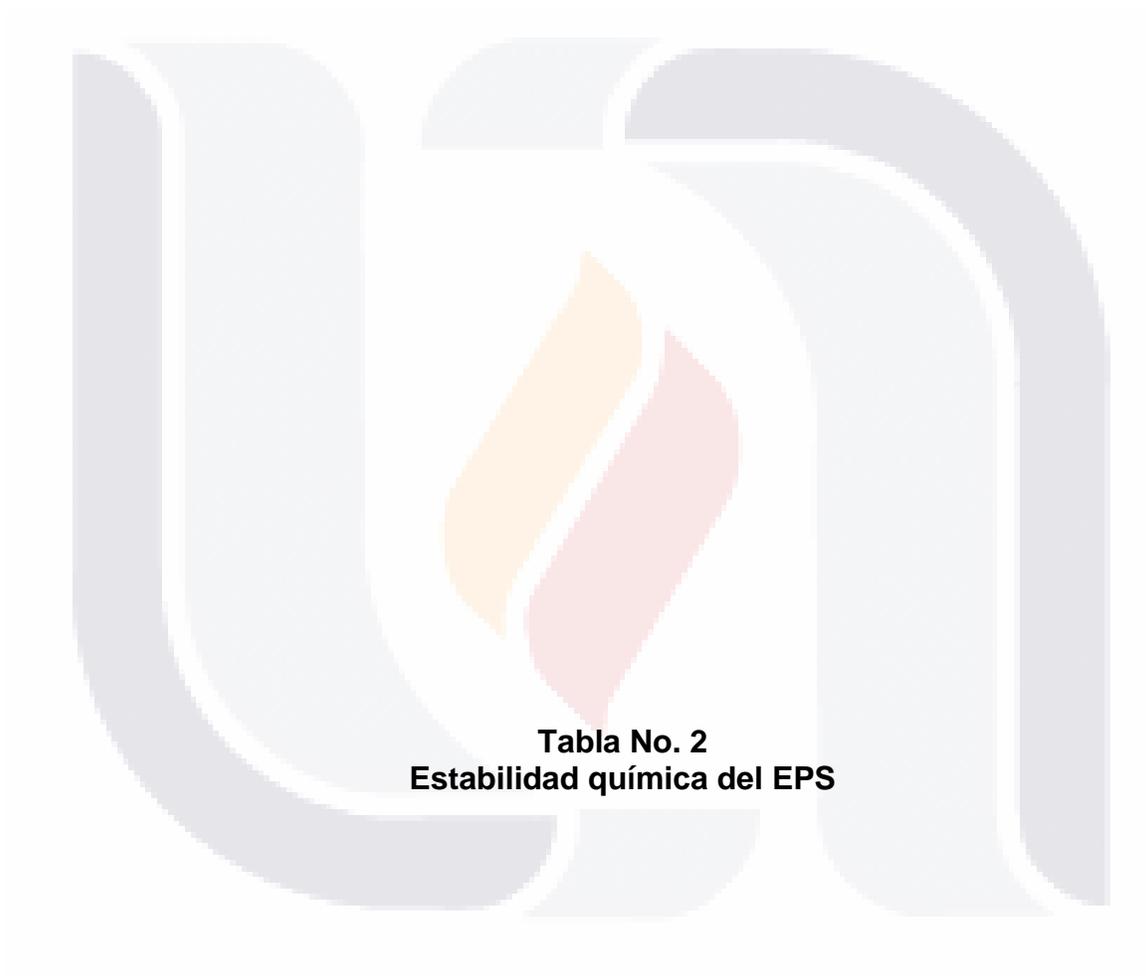


Tabla No. 2
Estabilidad química del EPS

| SUSTANCIA ACTIVA | ESTABILIDAD |
|---|--|
| Solución salina (agua de mar) | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Jabones y soluciones de tensioactivos | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Lejías | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Acidos diluidos | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Acido clorhídrico (al 35%) , ácido nítrico (al 50%) | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Acidos concentrados (sin agua) al 100% | No estable: El EPS se contrae o se disuelve |
| Soluciones alcalinas | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Disolventes orgánicos (acetona, esterres,..) | No estable: El EPS se contrae o se disuelve |
| Hidrocarburos alifáticos saturados | No estable: El EPS se contrae o se disuelve |
| Aceites de parafina, vaselina | Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie |
| Aceite de diesel | No estable: El EPS se contrae o se disuelve |
| Carburantes | No estable: El EPS se contrae o se disuelve |
| Alcoholes (metanol, etanol) | Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada |
| Aceites de silicona | Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie |

Fuente: Knauf (2005, 4).

La base del EPS es el monoestireno que se encuentra en estado líquido y mediante un proceso de polimerización en suspensión del estireno, añadiendo agentes de expansión, se estructuran para dar origen a las macromoléculas del EPS.

“Durante la polimerización, el enlace de vinilo de la molécula de estireno desaparece y se producen ~ 710 kJ/kg de calor (equivalente al calor de la hidrogenación del doble enlace). La densidad aumenta de 0.905 g/cm³ en el monómero puro a 1,045 g/cm³ en el polímero puro, y es una función lineal respecto a la conversión. El peso molecular pasa de 104 g/mol en el monómero a valores de entre 200,000 a 300,000 g/mol en el polímero.” (MMAMRM, 2009,95)

Asimismo, señala que las reacciones químicas responsables de convertir el monómero en un polímero son 5:

- Iniciación para formar radicales,
- iniciación de cadenas,
- propagación o crecimiento en cadena,
- transferencia en cadena,
- terminación de los extremos activos de la cadena.

Las materias primas son el estireno, que en su forma pura es transparente que debe almacenarse a bajas temperaturas y añadiéndole un inhibir para evitar la polimerización accidental. Se utilizan también estabilizantes como son los antioxidantes para proteger a los polímeros contra la degradación o rotura de la cadena en caso de reacción con el oxígeno atmosférico. Otro elemento son los lubricantes internos y agentes de desmolde como son aceites minerales que se añaden durante la polimerización; los agentes de desmolde también se añaden en este proceso, los lubricantes externos más habituales son el etileno bis estearamida y el poletileno glicol 400. Para el control del color se añaden partículas de colorante azul que se disuelven en el estireno durante la preparación del suministro. Dependiendo del tipo de proceso de fabricación se añade o no caucho.

Entre sus propiedades físicas están el rango elástico, ya que permite deformaciones de entre el 1 y 1.5% bajo cargas monotónicas, este rango puede ser aumentado mediante aplicación de deformación axial de gran orden. Tiene resistencia a la compresión, a la conductividad térmica, la tracción y flexión, la siguiente tabla muestra las características físicas del EPS.

Tabla No. 3
Características físicas del EPS

| | | |
|--------------------------------|----------------|-------------------|
| • DENSIDAD | ≥ 19 | kg/m ³ |
| • CONDUCTIVIDAD TERMICA 10°C | ≥ 35 | mW/m.K |
| • RESISTENCIA A COMPRESIÓN 10% | ≥ 100 | kPa |
| • TRACCIÓN | ≥ 150 | kPa |
| • FLEXION | ≥ 150 | kPa |
| • CLASIFICACION AL FUEGO | M1 – UNE 23727 | |
| • CLASIFICACION AL FUEGO | E - EUROCLASE | |

Fuente: Knauf (2005, 3).

De acuerdo con su densidad, el EPS se clasifica en intervalos que van desde los 10 kg/m³ hasta los 35 kg/m³.

2.6 OBTENCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Son varias las etapas del proceso para la obtención del EPS que inician con la de preexpansión donde la materia prima se calienta en preexpansores con vapor de agua a temperaturas de entre 80 a 100 grados centígrados. En esta etapa las perlas de materia prima se convierten en perlas de plástico celular con celdillas cerradas que contienen aire en su interior. La segunda etapa es la de reposo intermedio y estabilización, en ella las partículas se enfrían y se crea un vacío interior que se compensa por penetración de aire por difusión, el producto se deja reposar en silos ventilados por al menos 12 horas. La tercera etapa es la de proceso de transformación donde se producen bloques o moldeados. En el primero la perla expandida entra en un bloque y se somete a un proceso de soldadura mediante vapor de agua. En el segundo se utiliza una máquina en la que hay un molde de forma concreta de la pieza a fabricar. La cuarta etapa es el corte mecanizado, existen cortes en recto o en formas. (Martínez y otros, 2012, 10-11).

2.7 APLICACIONES DEL EPS EN LAS OBRAS CIVILES Y LAS EDIFICACIONES

En las obras de ingeniería civil es utilizado generalmente en construcción de carreteras, elevación y drenaje de campos deportivos y parques con zonas de césped, elevación para asentamiento en estacionamientos, reducción de carga por relleno para reforzamiento de puentes, alcantarillas y rampas, elevaciones encima de gasoductos enterrados, reducción de cargas laterales reforzando cimentaciones de pilotes en obras de restauración, barrera contra ruidos, reparación de carreteras, pavimentos de patios, pisos industriales entre otros.



Imagen No. 1

Uso del EPS en obras civiles (carreteras)

Fuente: <https://tecnopol.mx/el-uso-del-geofom-en-la-ingenieria-civil/>

En edificaciones el EPS se utiliza para aislamiento térmico-acústico, aligeramiento de estructuras de edificación, moldes y juntas y como material aligerante y conformador de estructuras. En particular sus aplicaciones son para muros exteriores e interiores, pisos y entrepisos, techos y plafones, sistemas constructivos perimetrales, sistemas

de cubiertas metálicas compuestas o sencillas y cuartos fríos o frigoríficos en instalaciones industriales.



Imagen No. 2
Aplicaciones del EPS en edificaciones

Fuente: <https://estudioeps.wordpress.com/2009/06/25/edificacion-y-poliestireno-expandido/>

Por lo general, las empresas que fabrican y comercializan el EPS señalan en hojas técnicas las características del mismo para las edificaciones, se observan a continuación algunas hojas de datos de EPS para la industria de la construcción.

La empresa Rolan perteneciente a Aislantes Minerales S.A. de C.V.² en México, señala que las placas de EPS son rígidas, ultraligeras, resistentes a la compresión y con alta resistencia a la transmisión de calor, ofreciendo balance entre economía y funcionalidad. El contenido de aire es del 98% en las celdas selladas con propiedades de alta eficiencia termoaislante y con bajo coeficiente de absorción de humedad y de transmisión de vapor, las señala como ideales para lograr un alto grado de aislamiento de aislamiento término con mínimo peso. También con

² Información obtenida de: https://www.rolan.com/wp-content/uploads/2018/04/CO_Poliestireno-expandido_Abr18.pdf

resistencia al a compresión vertical, a la flexión y tensión, así como capacidad de absorción y disipación de fuerzas de impacto por lo que se utilizan en refuerzos internos de paneles y muros que están expuestos a impactos y cargas dinámicas bajo pisos, rampas y pavimentos.

Esta empresa produce 4 tipos de paneles en densidades estándar tipo XI, I, VIII, II en espesores de 1 a 4 pulgadas y en dimensiones de 122x244 cm con formas: superficies planas o perfiladas, caras paralelas o en ángulo y/o cantos rectos con cortes para ensamble.

Otra empresa consultada fue Estiromat con sede también en México, dedicada a la fabricación de EPS los productos que maneja para la construcción son: casetones, bovedillas, molduras, semiviguetas y placas todas fabricadas de EPS.³

2.8 GESTIÓN SUSTENTABLE DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO, DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE, RECICLADO Y REUTILIZACIÓN

La gestión sustentable de los residuos sólidos se define como “el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos desde su generación hasta la disposición final, lo anterior con el fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y la aceptación social respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad”. (Carillo, 2019, 42).

De acuerdo a lo anterior un manejo sustentable debe contar con:

- Reducción desde su origen

³ Información obtenida de: <https://estiromat.com/>

- Reciclaje
- Transformación de residuos
- Vertido

El proceso de fabricación del poliestireno en general lleva ya una huella de carbono, energética e hídrica importante. En primer lugar, es un derivado del petróleo, recurso no renovable. También en su elaboración se producen gases químicos que destruyen la capa de ozono, generan efecto invernadero y liberan sustancias tóxicas. El EPS no es biodegradable, más si reciclable como se señalará más adelante, su desintegración es mayor a cien años.

“El unigel es un derivado del petróleo [...] Su principal derivado es el estireno, un compuesto químico que ha sido catalogado como cancerígeno, de acuerdo a la Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos de América (ATSDR). Debido a los compuestos químicos con los que es fabricado, el unigel o poliestireno es un material no biodegradable: la naturaleza sólo puede dividir su estructura en moléculas mínimas, pero no biodegradarlo. Una vez que el unigel es desechado, este comienza a fragmentarse en piezas cada vez más pequeñas, hasta llegar a convertirse en micro partículas. Dentro de los basureros el desecho de unigel cuenta con dos opciones: puede ser desechado como relleno sanitario o puede ser incinerado. El proceso de incineración del unigel, y de la basura en general, es un procedimiento delicado, al implicar temperaturas sumamente altas dentro de las cuales los residuos emiten gases. Dichos vapores y gases han sido catalogados por el Buró Nacional del Centro de Estándares para la Investigación del Fuego de Estados Unidos de América como altamente dañinos.”
(Daniel Martínez, 2018)

De acuerdo con el del Plan de Nacional de Manejo de Residuos de EPS elaborado en 2018, durante la fabricación de poliestireno en México el impacto es equivalente

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

a 4.27 kg de CO₂ por kilo de perla de poliestireno. Esto significa que se produce cuatro veces más óxido de carbono contra 1 kilo de perla de poliestireno.

Ciertamente el uso de EPS en la industria de la construcción resulta en mayores beneficios que el uso de otro tipo de materiales según sus aplicaciones. Dentro de los denominados Residuos Sólidos Urbanos (RSU), dentro de éstos se encuentran los Residuos Sólidos Plásticos (RSP) que es como se clasifica entre otros este producto.

Dentro de los criterios establecidos para la clasificación de los Residuos de Manejo Especial y su Plan de Manejo emitido por la SEMARNAT como NOM-161 en el 2011, divide en tres las tipologías del residuo generado por el EPS que son:

- Residuos industriales: se originan tras la utilización de embalajes de EPS de transporte de componentes de diversos productos.
- Residuos del comercio y distribución: envases de alimentación, embalajes y bandejas agrupadoras de unidades de venta.
- Residuos domésticos: artículos diversos de envases y embalajes.

Como se observa, el EPS utilizado a largo plazo en la construcción no se toma en cuenta como un residuo que deba ser manejado de manera especial.

Las políticas ambientales en México han orientado los esfuerzos a la desaparición de productos (envases) elaborados con EPS en la industria de la alimentación. De acuerdo con el Portal de Noticias El Imparcial de Oaxaca, 17 estados de la república han prohibido el uso de unigel (así llamado el EPS en envases para alimentos). <https://imparcialoaxaca.mx/ecologia/308381/en-mexico-17-estados-prohiben-el-uso-de-unigel-y-popotes/>

De acuerdo con las cifras del Plan Nacional de Manejo de Residuos de EPS elaborado en 2018, señala que los productos de poliestireno representan el 9% de la industria plástica. En México cuatro son las empresas líderes de fabricación de

poliestireno. En particular el EPS cuenta con un consumo anual aproximado de 125 mil toneladas, representando el 29.97% total de la industria de poliestireno.

El dato interesante es que mientras la preocupación de ambientalistas, políticos y legisladores se centra en el consumo de EPS en la industria alimentaria, siendo que sólo el 24% de este producto se usa para los envases de alimentos y un 76% para la construcción y el embalaje. El 57% en específico se utiliza para la industria de la construcción. ¿Por qué no es importante más de la mitad de la producción de EPS para estos grupos? La razón es sencilla: porque se trata de aplicaciones duraderas, mientras que los otros productos son desechados casi de manera inmediata.

Una razón más de la persecución de los productos de EPS para alimentos y embalaje es la ocupación de espacio en los rellenos sanitarios, siendo que el 98% de su estructura es aire, su relación con el espacio es totalmente inversa, su peso es mínimo contra el espacio que ocupa.

En la industria de la construcción el uso de EPS para productos ya señalados significa un menor impacto medioambiental contra el uso de otro tipo de materiales como son el ladrillo y el bloque.

Aunque la producción de RSU a partir del EPS es mínima contra otros y éste es 100% reciclable, el problema está en que no existen todavía suficientes alternativas para su utilización después de cumplir su ciclo de vida en envases y embalajes, al no ser tratado de manera adecuada ya sea depositado en rellenos sanitarios y vertederos (donde el problema es el espacio que ocupan al no ser compactados), o bien ser reciclado y reutilizado, este material causa graves daños al medio ambiente, un ejemplo es cuando estos desechos arrojados al mar. De acuerdo con Douglas McCauley, profesor de Biología Marina de la Universidad de California el poliestireno genera dos problemas marinos: mecánicos y biológicos, ya que se han encontrado este tipo de materiales en intestinos de animales en el mar lo que provoca bloqueos en sus sistemas digestivos que son letales. Los problemas

biológicos están en las propiedades absorbentes del poliestireno; en el mar este producto recoge y concentra algunos de los contaminantes marinos más dañinos.⁴

El EPS es material reciclable, existen actualmente tres opciones de aprovechamiento del mismo una vez que se desechado:

- Reciclado mecánico
 - Fabricación de nuevas piezas de EPS mediante trituración.
 - Mejora de suelos, se tritura y muele y se emplea para ser mezclado con la tierra mejorando su drenaje y aireación.
 - Incorporación a otros materiales de construcción, se muele a diferentes granulometrías y se mezcal con otros materiales fabricando ladrillos ligeros y porosos, aislante y hormigones entre otros.
 - Granza de PS, mediante procesos de fusión o sintetizado se obtiene granza que se utiliza para fabricar piezas mediante moldeo por inyección como son bolígrafos, perchas, carcasas, material de oficina, entre otros.
- Recuperación energética, se obtiene energía en forma de calor a partir de la combustión de residuos, se usa para productos y materiales que no pueden ser reciclados de manera fácil como son cajas de pescado. Si este proceso de realiza en instalación de recuperación energética, no produce gases dañinos.
- Vertido, es el menos aceptable porque se pierde la oportunidad de recuperar recursos, el propósito es el manejo biológico, inerte, no tóxico y estable del EPS.

El problema del reciclado y reutilización del EPS es que los volúmenes recolectados no alcanzan grandes cifras en México. Dart México en 2018 era la única que

⁴ Portal Teorema Ambiental. 2017. URL: <http://www.teorema.com.mx/contaminacion/cuales-los-efectos-al-medio-ambiente-del-poliestireno/>

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

contaba con una planta de reciclado de EPS en el Estado de México lo que representa reciclar solamente el 0.00004% del unigel consumido. Daniel Martínez (2018) señala a este respecto que los costos de transportación y el volumen que ocupa el aire en el unigel hacen que el reciclado de unigel en mayores cantidades no sea una opción realista.

De las dificultades de reciclar el EPS, surge la alternativa de utilizar otros materiales para la producción de losas nervadas para la construcción, en este caso, el cartón corrugado que está listo para el proceso de reciclado y reutilización.

2.9 CARTÓN CORRUGADO RECICLADO COMO ALTERNATIVA AL USO DE EPS EN LOSAS NERVADAS Y DESAFÍOS MEDIOAMBIENTALES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

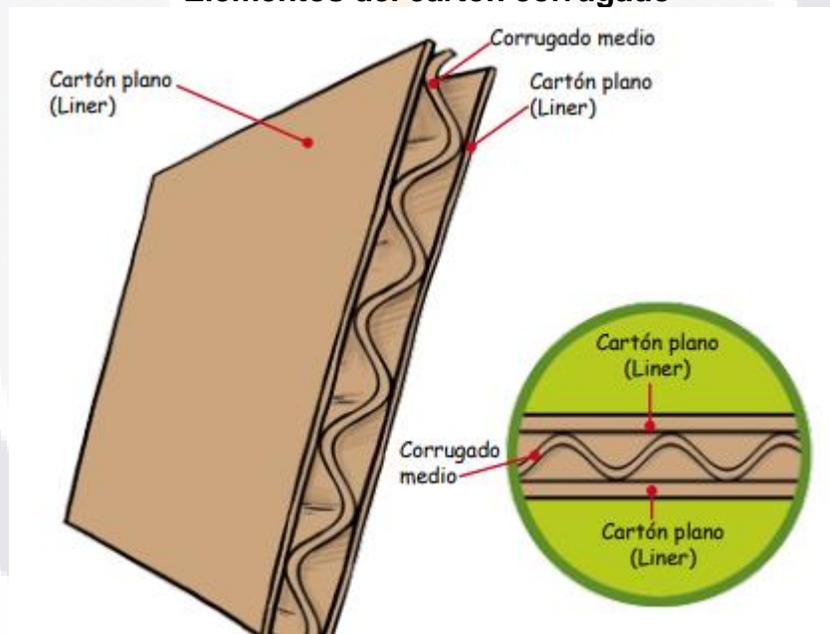
Señala la Norma Oficial NMX-AA-164 que “Las prácticas de edificación sustentable han demostrado beneficios en el desempeño ambiental y energético, logrando una operación eficiente con estándares de excelencia y menores gastos para los usuarios.” (SE, 2013, 2).

En la edificación sustentable, todas las aplicaciones realizadas con EPS son muy apreciadas por su bajo impacto en el medio ambiente contra otro tipo de materiales, sin embargo y como ya se observó, el reciclado y reutilización del mismo es muy complicado, en este apartado se revisa la situación del cartón corrugado reciclado como una alternativa al uso de EPS y así disminuir aún más los efectos al medio ambiente que se generan en la construcción.

El cartón corrugado está elaborado a base de fibras vegetales de celulosa que provienen de árboles.

“El cartón corrugado es un material que tiene como base la celulosa, es una estructura formada por un nervio central de papel ondulado el cual pasa por un proceso de ondulado para crear volumen o grosor en el cartón (flauta o médium), reforzado externamente por dos capas de papel (liners o caras) pegadas con adhesivo en las crestas de las ondas. Es un material liviano cuya resistencia se basa en el trabajo en conjunto y vertical de las tres láminas de papel. [...] El cartón corrugado es la materia prima principal para la elaboración de empaques y/o embalajes para transportación, conservación, almacenaje de todo tipo y variedad e productos.” (Ayala, 2009, 11).

Figura No. 9
Elementos del cartón corrugado



Fuente: Grupo Cartopapel (S/A)

Existen diferentes tipos de presentaciones según el número de capas que puede ir desde una hasta tres paredes con tres planchas onduladas. La tabla No. 3 indica el perfil del ondulado y el espesor en milímetros según el tipo de onda.

Tabla No. 4
Cartón corrugado por tipo de onda

| Perfil del ondulado | Espesor del cartón mm |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Onda muy grande | >5 mm |
| Onda grande (canal A) | 5 mm |
| Onda mediana (canal C) | 4 mm |
| Onda pequeña (canal B) | 3 mm |
| Micro canal (canal E) | 2 mm |
| Mini micro canal (canal F) | 1mm |

Fuente: Gines, Vidal (2017).

De acuerdo con el tipo de onda, el cartón muestra mayor resistencia por su espesor. Los de tipo A tienen una mayor resistencia a la compresión vertical, los B a la plana.

Las propiedades físicas son:

- Aspecto: color curdo.
- Gramaje: designa la cantidad de papel que hay por unidad de superficie.
- Espesor: tipo de onda expresada en milímetros.
- Humedad: cantidad de agua contenida y expresada en porcentaje.
- Permeabilidad al aire: capacidad que le permite no alterar su estructura interna al ser atravesado por un flujo.

Las propiedades mecánicas son:

- Resistencia al aplastamiento.
- Resistencia a la compresión sobre el canto.
- Resistencia a la compresión en corto.
- Resistencia al estallido

- Resistencia al plegado.

La característica más importante del cartón corrugado es que es biodegradable, su degradación tarda máximo un año y es 100% reciclable ya que todos y cada uno de sus materiales pueden reutilizarse hasta 7 veces según la longitud de sus fibras. Este aspecto lo convierte en una alternativa sustentable y sostenible contra el uso de EPS.

Otra ventaja es su facilidad para reciclarse, de inicio, no ocupa espacio ya que pueden doblarse o estirarse contra el EPS que ocupa un gran espacio. El cartón corrugado puede fabricarse a partir de fibra virgen o fibra recicladas.

En cuanto a la captación de RSU, la captación de papel y cartón es igual ya que se puede utilizar cualquiera para elaborar cartón corrugado. Cartón y papel son los subproductos más importantes de aquellos que son susceptibles de aprovechamiento, de acuerdo con Green Peace (2019), éstos constituyen 39.57% de los RSU, de este porcentaje papel y cartón en su conjunto cuentan con 12.74% es decir, casi 30% de los RSU reutilizables, mientras que el EPS alcanza un 1.65% de este 39.57. Esto hace que la fabricación reciclada de productos de cartón sea muy factible y al alcance geográfico en cualquier parte del país para la industria de la construcción.

Bio Pappel es una de las empresas que producen más artículos relacionados con el papel en México, cuenta con operaciones en 17 estados y maneja un total de 1.35 millones de toneladas de papel y cartón reciclado para la elaboración de sus artículos, capturando un total de 5.41 millones de toneladas de CO₂, salvando 3.1 millones de árboles esto sólo en 2019.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las hipótesis de trabajo se centran en dos aspectos o variables determinantes que son:

- a) La elaboración de losas nervadas con cartón corrugado y la comprobación de que cuentan con resistencia y durabilidad mayor o igual a las elaboradas con EPS y que son factibles por existencia de materia prima y costo de producción.
- b) El impacto medioambiental positivo que se generaría al utilizar un material con mayor potencialidad de reciclaje como lo es el cartón corrugado.

A partir de estos aspectos, se define las:

Hipótesis de investigación

Las losas nervadas elaboradas con cartón corrugado reciclado en sustitución del EPS responden en aspectos de resistencia de carga, permeabilidad y deformación con mayor o igual grado de confiabilidad que las fabricadas con EPS e impactan en menor grado al deterioro ambiental por contaminación y desechos de la construcción que las elaboradas con EPS.

De acuerdo con la Hi se establecen variables para conocer su grado de comprobación.

Tabla No. 5
Hipótesis y variables de investigación

| Hipótesis | Variable Independiente | Variable dependiente |
|---|--|--|
| 1. Las losas nervadas elaboradas con cartón corrugado en sustitución del EPS responden en aspectos de resistencia, permeabilidad, resistencia de carga y deformación con mayor o igual grado de confiabilidad que las fabricadas con EPS. | Material de fabricación (cartón corrugado) vs (Poliestireno expandido) | Resistencia de carga, permeabilidad y deformación mayor o igual al EPS |
| 2. La elaboración de losas nervadas con cartón corrugado, impactan en menor grado al deterioro medioambiental desde el proceso de elaboración, construcción y desecho de materiales de la construcción. | Losas nervadas elaboradas con cartón corrugado. | Disminución del deterioro medioambiental en la elaboración, construcción y desecho de materiales de la construcción. |

Fuente: Elaboración propia.

La Hipótesis marcada con el numeral 1 está relacionada con la investigación cuantitativa y la Hipótesis marcada con el numeral 2 con la investigación cualitativa.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es de tipo experimental, debido a que se elaborará la losa nervada y con ello se manipula la variable independiente de la Hipótesis 1, además que existe control y validez al comparar la elaboración con diferentes materiales.

Por su parte, la Hipótesis 2, será respondida si la Hipótesis 1 resulta válida y verdadera, ya que no tendría caso si esto no sucede.

Al ser la investigación experimental, se manipula las variables independientes lo que lleva a corroborar las dependientes, para ello se llevará a cabo la fabricación

de losas nervadas o casetones con cartón corrugado sustituyendo al EPS y aplicando las pruebas ya enunciadas. Las pruebas realizadas otorgan el elemento de control en el experimento lo que debe lograr su validez interna y por tanto validez en determinar si se cumplen o no las variables dependientes y la hipótesis de trabajo.

La recolección de datos se realiza con la medición de las características del producto elaborado bajo los conceptos de resistencia, permeabilidad y deformación en pruebas de laboratorio, contando así con confiabilidad, validez y objetividad.

De confiabilidad mediante el procedimiento de consistencia interna determinada por las pruebas, de validez pues dichas pruebas miden y dan resultados de las variables dependientes de la Hipótesis 1.

La evidencia de contenido y de objetividad están garantizadas ya que las pruebas se realizan con instrumentos de medición científicamente confiables.

Los instrumentos de medición pertenecen a pruebas estandarizadas de laboratorio con aparatos y equipos especializados para los fines que se buscan.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Dado que el uso del cartón corrugado no es común en la industria de la construcción y por lo general no existe conocimiento de sus características como material para elaborar en este caso losas nervadas, no existe la confianza para utilizarlo como material de construcción.

Como ya se determinó, el uso de cartón corrugado está actualmente orientado en su producción para utilizarse como empaque y su reutilización es cotidiana ya que los empaques normalmente son reciclados.

Sin embargo, cuando se desea introducir el uso del cartón corrugado en la industria de la construcción, no se tiene la suficiente confianza en sus características de resistencia de carga, permeabilidad y deformación; es así que el experimento está orientado a probar que las tres variables son iguales o mejores en losas nervadas elaboradas con cartón corrugado en sustitución del EPS.

4.1 MATERIALES

Tipo de cartón y obtención

El cartón utilizado se adquirió Corpar S.A. de C.V. empresa local que se dedica a la fabricación de empaques de cartón corrugado. Básicamente el utilizado para este experimento es el sobrante por recortes en la elaboración de cajas y empaques.

El material tiene buen grado de limpieza después de pasar por el proceso de trituración, lo que facilita trabajarlo. El costo del kilogramo es de \$0.75 (setenta y cinco centavos)

Materiales

Para la elaboración de las losas nervadas se consideran los siguientes materiales

- Cartón corrugado
- Agua
- Mucílago de nopal (como aglutinante e impermeabilizante)
- En algunas pruebas, cal de bulto

4.2 ELABORACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA LOSA NERVADA

4.2.1 Sustratos

Como primera prueba piloto se realizaron secciones de cartón con las siguientes medidas 10cm x 20cm por 2.5cm de grosor, para estas se llevaron a cabo bastidores de madera con malla de mosquitero para facilitar la liberación de agua de la mezcla.



Imagen No. 3

Elaboración de bastidor de madera y malla
donde se realizarán las probetas con las medidas 10cm x 20cm x 2.5cm

Se elaboraron 11 probetas las cuales usaron 200gr de cartón cada una y 1000 ml de agua para su elaboración.

Se dividió el proceso de molido, debido a las capacidades del uso de una licuadora casera, en la cual se introdujeron 50 gr de cartón y 1lt de agua, después de triturada la mezcla, se utilizó tela de manta para exprimir el excedente de agua, llegando a recuperar 650 ml de agua, esta agua es reutilizada agregando 350 lts. en cada paso



Imagen No. 4

Probetas realizadas triturando cartón y empleando agua como aglutinante

Tabla No. 6
Probetas elaboradas con mezcla de agua y cartón corrugado

| Probeta | Sustrato | Aglutinante |
|---------|------------------|-------------|
| 1 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 2 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 3 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 4 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 5 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 6 | 200 gr de cartón | 1 lt agua |
| 7 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 8 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 9 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 10 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |
| 11 | 200 gr de cartón | 1.4 lt agua |

Fuente: elaboración propia



Imagen No. 5
 Probeta una vez seca y retirada del bastidor de madera

Una vez que se comprobó que las probetas eran funcionales, se elaboraron otras tantas para realizar las pruebas con diferentes materiales.

4.2.2 Elaboración mucílago de nopal

El mucílago es una sustancia orgánica viscosa semejante a la goma conteniendo vegetales como el nopal.

Para elaborarlo se requieren los siguientes ingredientes:

- A. Hojas de Nopal
- B. Agua potable
- C. Sal yodada de uso común

En la mezcla se utilizaron 900 gr de hoja de nopal, cortadas en pedazos pequeños, agregando 3 litros de agua y 15 gr de sal común.



Imagen No. 6
Mezcla para obtener mucílago de nopal

Proceso de Fabricación:

A las hojas de Nopal se les corta en el nacimiento de la hoja con un cuchillo, se retiran las espinas que son innecesarias para la mezcla. Posteriormente se deben cortar las hojas en trozos pequeños para facilitar la liberación de la sustancia viscosa del nopal, la cantidad utilizada es de 900gr.



Imagen No. 7

Hojas de nopal con corte en trozo para liberar con mayor facilidad la sustancia viscosa.

La cantidad de agua se tomó en cuenta en base al proceso realizado por Cervantes García y otros (2010), que utilizan 3 litros de agua donde deja reposar cabezas de choya.

Para este experimento se sustituye la choya por los 900 gr de nopal, cantidad estimada. El tiempo en que se deja reposar los nopales es de 12 horas y una vez cumplido este tiempo se dispone a retirar los nopales quedando únicamente el mutilo de nopal. Para la mezcla se adiciona la sal.

Cervantes García (2010), justifica el jugo en su caso de cactus para elaboración de muros de papel y cartón comprimidos: “La razón por la que se utilizó este jugo de

cactus con sal de cocina se debe a que, por observación de campo, en las comunidades de los valles del Mayo y Yaqui en el estado de Sonora, a las construcciones de carrizo con tierra, madera de pitahaya entretejida cubierta de tierra, se le aplica una película de calhidra (blanco española) con baba de choya tatemada y sal sobre las paredes. Esta sustancia tiene propiedades hidrofóbicas y fungicidas porque rechazan a la humedad, termitas y demás insectos, ya que se puede ver que se conservan intactas a través de los años.”

Para el caso de la mezcla de nopal, se toma la decisión de 10 gr, es decir, el doble de los sugeridos por Cervantes García



Imagen No. 8

Agregando los 10gr de sal a los 3 litros de mucílago de nopal obtenidos.

4.2.3 Incorporación de cal a la mezcla de mucílago de nopal

Otra mezcla elaborada, fue la que incorporó cal al mucílago de nopal para utilizarlo como recubrimiento, con el objetivo de tratar de obtener una menor permeabilidad.

Proceso de fabricación:

- A. Primero se cortan las hojas de nopal (900gr) en trozos pequeños para facilitar la liberación de mucilago de nopal.
- B. Se incorporan los trozos de Nopal a 1lt de agua y se deja reposar por 12 horas.
- C. Se cuela la mezcla de agua con mucilago de nopal, para separar los trozos de hoja de nopal, pudiéndolos utilizar para composta.
- D. Se agregan los 100 gr de sal y se procede a mezclar con pala.
- E. Se agrega a la mezcla 1 kilo de cal y nuevamente se utiliza el mezclador de pala para incorporar bien todos los elementos.

Tabla No. 7
Proporciones de Material para elaborar 1,200 litros con recubrimiento a base mucílago de nopal con cal

| Material | Cantidad en Lts | Cantidad en Gr |
|-----------------|------------------------|-----------------------|
| Nopal | | 900 |
| Agua | 1 lt | |
| Sal | | 100 gr |
| Cal | | 1000gr |

Fuente: elaboración propia.

4.2.4 Aplicación de mezclas.

El muestreo de mezclas se realizó en esta primera etapa, para determinar la permeabilidad según los materiales utilizados.

La primera muestra se realizó con sustrato y mucílago de nopal como aglutinante, mediante las pruebas de permeabilidad, se determinará si existe una diferencia considerable entre agregarlo al momento de elaborar la mezcla o como recubrimiento impermeable. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla No. 8
Mezcla de cartón y mucílago como aglutinante

| Probeta | Sustrato | Aglutinante |
|----------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de mucílago de nopal |
| 2 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de mucílago de nopal |
| 3 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de mucílago de nopal |
| 4 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de mucílago de nopal |
| 5 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de mucílago de nopal |

Fuente: elaboración propia.

La segunda muestra se elaboró utilizando 5 probetas donde el mucílago de nopal se incorporó como recubrimiento empleando agua como aglutinante, los resultados fueron los siguientes:

Tabla No. 9
Mezcla de cartón y mucílago como recubrimiento

| Probeta | Sustrato | Aglutinante | Recubrimiento |
|----------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal |
| 2 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal |
| 3 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal |
| 4 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal |
| 5 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal |

Fuente: elaboración propia.

Una tercera muestra se elaboró con probetas donde se incorporo cal y se utilizó el mucílago de nopal como recubrimiento.

Tabla No. 10
Mezcla de cartón y mucílago con cal como recubrimiento

| Probeta | Sustrato | Aglutinante | Recubrimiento |
|----------------|----------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 1 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal con cal |
| 2 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal con cal |
| 3 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal con cal |
| 4 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal con cal |
| 5 | 200 gr de cartón corrugado | 1.4 lts de agua | 50 ml de mucílago de nopal con cal |

Fuente: elaboración propia.

4.3 ELABORACIÓN DE LA LOSA Y PRUEBAS

4.3.1 Pruebas Piloto

Para esta etapa se evaluaron mediante el uso de tubos Karsten las primeras probetas que fueron elaboradas con el cartón triturado, utilizando como aglutinante agua. Se optó por una mezcla simple para a partir de ella determinar cuál sería la mezcla que fuera más similar a los fines deseados para la elaboración del casetón, ya sea empleando el mucílago de nopal como aglutinante o como recubrimiento final.



Imagen No. 9

Prueba de permeabilidad a probeta de la mezcla de cartón y agua

Las 11 probetas demostraron contar con alta permeabilidad, absorbiendo los 4ml de agua en menos de 30 segundos, ello porque al entrar en contacto el agua con las fibras, se extendía a manera de esponja, distribuyendo el agua en toda la probeta.

De las 11 probetas se evaluaron 5 con los tubos Karsten, los cuales se utilizaron solo por 2 minutos ya que la cantidad de agua que absorbían era en grandes proporciones por lo cual se decidió no prolongar la prueba de permeabilidad en estas probetas.

En esta primera prueba se puede observar que el agua al momento de entrar en contacto con el cartón se empieza a repartir a gran velocidad en toda la probeta, de tal manera que la distribución no es puntual, si no a lo largo de todo el cuerpo.

Tabla No. 11
Resultados de la prueba de permeabilidad en mezcla de cartón y agua
utilizando tubos Karsten

| Tiempo | Material | Volumen de agua absorbido (ml) |
|---------------|----------------------|---------------------------------------|
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | 156 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | 146 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | 158 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | 163 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | 149 ml |

Fuente: elaboración propia.

Otras 5 probetas se utilizaron incluyendo el mucílago de nopal como recubrimiento donde en los primeros 2 minutos mostraron un gran avance en comparación con las primeras probetas, ya que mostraron tener una resistencia mayor al agua, posterior a los 2 minutos empezaron a comportarse igual que las primeras probetas, donde el volumen de agua absorbido era en grandes proporciones, por lo que tampoco se evaluaron estas dos muestras por más de tres minutos.

Para las otras probetas que ya contaban con un recubrimiento de mucílago de nopal, se observa una retención del agua durante los primeros segundos, indicando que si es posible conseguir un cierto grado menor de la capacidad de retención de un líquido.

Tabla No. 12
Resultados de la prueba de permeabilidad en mezcla de cartón y agua con
mucílago de nopal utilizando tubos Karsten

| Tiempo | Material | Recubrimiento | Volumen de agua absorbido (ml) |
|---------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | Mucílago de nopal | 123 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | Mucílago de nopal | 132 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | Mucílago de nopal | 135ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | Mucílago de nopal | 127 ml |
| 2 min | Mezcla Cartón y Agua | Mucílago de nopal | 125ml |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a las pruebas realizadas se infiere:

- A. El material se observa resistente cuando se ha secado, pero al entrar en contacto con el agua, vuelve a recuperar su capacidad maleable siendo así un material que continúa hidratándose.
- B. Las pruebas con los tubos Karsten se dificultan ya que una vez que se empieza a hidratar el material este va despegando el sello que adhiere el tubo Karsten con el cartón, por lo cual aumenta el volumen de agua que es absorbido.
- C. Las probetas que tenían una capa de recubrimiento de mucílago de nopal presentaron por unos pocos segundos una resistencia al agua, lo cual reafirmo la idea de utilizar probetas en las cuales el aglutinante fuera como tal el mucílago de nopal.

Tabla No. 13
Resultados prueba de permeabilidad en mezcla cartón y mucílago de nopal como aglutinante, utilizando tubos Karsten

| Tiempo (min) | Lectura (ml) | Volumen de agua absorbida (ml) |
|--------------|--------------|--------------------------------|
| 5 | 4 ml | 7 |
| 10 | 4 ml | 10 |
| 15 | 4 ml | 6 |
| 20 | 4 ml | 4 |
| 25 | 4 ml | 4 |
| 30 | 4 ml | 3 |
| Total | | 34 ml |

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, se obtiene una gran diferencia en comparación con las anteriores, ya que presentó una permeabilidad menor, así se concluye que la utilización del mucílago de nopal como aglutinante, llega a contribuir de manera sustancial, por lo cual se tomará en cuenta en las siguientes pruebas.

Otra de las características a destacar es que el mucilago al estar incorporado en todo el elemento como aglutinante, provoca que la muestra se comporte diferente, observando que en las anteriores se notaba cómo se absorbía el agua tal como una esponja y en esta última probeta el agua solo se va concentrando en el lugar de aplicación, por lo que es un fenómeno interesante y que sin duda contribuye como otro factor que beneficia a la muestra, ya que la capacidad permeable ahora no solo queda en un recubrimiento si no que está presente en todas los tejidos internos de la muestra de cartón.



Imagen No. 10

Muestra de material realizado con mucílago de nopal donde se muestra una retención parcial al líquido

Tabla No. 14
Resultados prueba de permeabilidad en mezcla de cartón, mucílago de nopal
y recubrimiento de mucílago de nopal con cal

| Tiempo (min) | Lectura (ml) | Volumen de Agua absorbida (ml) |
|--------------|--------------|--------------------------------|
| 5 | 4 | .10 |
| 10 | 4 | .08 |
| 15 | 4 | .10 |
| 20 | 4 | .12 |
| 25 | 4 | .08 |
| 30 | 4 | .09 |
| 35 | 4 | .11 |
| 40 | 4 | .08 |
| 45 | 4 | .10 |
| 50 | 4 | - |
| 55 | 4 | - |
| 60 | 4 | - |
| Total | | .86 |

Fuente: elaboración propia.

En esta prueba se observan datos más favorables que indican que el recubrimiento de mucílago de nopal con cal absorbe mucho menos agua.

La prueba fue realizada por un tiempo de 45 minutos debido a la presión ejercida del agua sobre el tubo Karsten provocaba que se despegara el material epóxico con el que estaba adherida la probeta, por lo que las pruebas de 50, 55 y 60 minutos no se concluyeron.



Imagen No. 11

Primera prueba piloto de permeabilidad en mezcla de cartón con mucílago de nopal como recubrimiento y recubrimiento de mucílago de nopal con cal. Se puede apreciar que el agua se distribuye superficialmente pero no llega a introducirse en el material.

4.3.2 Probetas realizadas con mucílago de nopal con cal como recubrimiento

Una vez que se demostró que al agregar cal al recubrimiento de mucílago de nopal mostraba menor permeabilidad, se probó en 12 probetas de cartón corrugado con aglutinante de mucílago de nopal descrito anteriormente al cual se le agregó un recubrimiento de mucílago de nopal con cal, la prueba se realizó durante 35 minutos, debido a que posterior a este tiempo el tubo Karsten se despegaba de la superficie debido a la presión que ejerce el agua. Los datos arrojados en estos primeros 35 minutos fueron muy bajos, además se observó que el agua se quedaba en la superficie y no penetraba las capas del cartón.

Tabla No. 15
Pruebas de permeabilidad en probetas

| Probeta 01 | | | Probeta 02 | | |
|--|---|--------------------------------|--|---|--------------------------------|
| Sustrato: Cartón corrugado |  | Volumen de agua absorbido (ml) | Sustrato: Cartón corrugado |  | Volumen de agua absorbido (ml) |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | Aglutinante: Mucílago de Nopal | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | |
| 5 | 4 ml | 0.08 | 5 | 4 ml | 0.09 |
| 10 | 4 ml | 0.10 | 10 | 4 ml | 0.11 |
| 15 | 4 ml | 0.07 | 15 | 4 ml | 0.12 |
| 20 | 4 ml | 0.11 | 20 | 4 ml | 0.09 |
| 25 | 4 ml | 0.09 | 25 | 4 ml | 0.06 |
| 30 | 4 ml | 0.12 | 30 | 4 ml | 0.11 |
| 35 | 4 ml | 0.09 | 35 | 4 ml | 0.10 |
| Total | | 0.66 | Total | | 0.68 |
| Probeta 03 | | | Probeta 04 | | |
| Sustrato: Cartón corrugado |  | Volumen de agua absorbido (ml) | Sustrato: Cartón corrugado |  | Volumen de agua absorbido (ml) |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | Aglutinante: Mucílago de Nopal | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | |
| 5 | 4 ml | 0.08 | 5 | 4 ml | 0.09 |
| 10 | 4 ml | 0.07 | 10 | 4 ml | 0.09 |
| 15 | 4 ml | 0.12 | 15 | 4 ml | 0.08 |
| 20 | 4 ml | 0.10 | 20 | 4 ml | 0.11 |
| 25 | 4 ml | 0.11 | 25 | 4 ml | 0.12 |
| 30 | 4 ml | 0.08 | 30 | 4 ml | 0.11 |
| 35 | 4 ml | 0.09 | 35 | 4 ml | 0.10 |
| Total | | 0.65 | Total | | 0.70 |

| Probeta 05 | | | Probeta 06 | | |
|--|---|--------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|
| Sustrato: Cartón corrugado |  | | Sustrato: Cartón corrugado |  | |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) |
| 5 | 4 ml | 0.10 | 5 | 4 ml | 0.08 |
| 10 | 4 ml | 0.09 | 10 | 4 ml | 0.07 |
| 15 | 4 ml | 0.09 | 15 | 4 ml | 0.08 |
| 20 | 4 ml | 0.07 | 20 | 4 ml | 0.09 |
| 25 | 4 ml | 0.12 | 25 | 4 ml | 0.11 |
| 30 | 4 ml | 0.12 | 30 | 4 ml | 0.10 |
| 35 | 4 ml | 0.10 | 35 | 4 ml | 0.12 |
| Total | | 0.69 | Total | | 0.65 |

| Probeta 07 | | | Probeta 08 | | |
|--|--|--------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|
| Sustrato: Cartón corrugado |  | | Sustrato: Cartón corrugado |  | |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) |
| 5 | 4 ml | 0.11 | 5 | 4 ml | 0.07 |
| 10 | 4 ml | 0.12 | 10 | 4 ml | 0.07 |
| 15 | 4 ml | 0.09 | 15 | 4 ml | 0.06 |
| 20 | 4 ml | 0.09 | 20 | 4 ml | 0.11 |
| 25 | 4 ml | 0.12 | 25 | 4 ml | 0.10 |
| 30 | 4 ml | 0.10 | 30 | 4 ml | 0.09 |
| 35 | 4 ml | 0.10 | 35 | 4 ml | 0.12 |
| Total | | 0.73 | Total | | 0.62 |

| Probeta 09 | | | Probeta 10 | | |
|--|---|--------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|
| Sustrato: Cartón corrugado |  | | Sustrato: Cartón corrugado |  | |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) |
| 5 | 4 ml | 0.10 | 5 | 4 ml | 0.11 |
| 10 | 4 ml | 0.11 | 10 | 4 ml | 0.11 |
| 15 | 4 ml | 0.09 | 15 | 4 ml | 0.08 |
| 20 | 4 ml | 0.09 | 20 | 4 ml | 0.09 |
| 25 | 4 ml | 0.08 | 25 | 4 ml | 0.07 |
| 30 | 4 ml | 0.07 | 30 | 4 ml | 0.12 |
| 35 | 4 ml | 0.09 | 35 | 4 ml | 0.09 |
| Total | | 0.63 | Total | | 0.67 |
| Probeta 11 | | | Probeta 12 | | |
| Sustrato: Cartón corrugado |  | | Sustrato: Cartón corrugado |  | |
| Aglutinante: Mucílago de Nopal | | | | | |
| Recubrimiento: Mucílago de Nopal + Cal | | | | | |
| Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) | Tiempo (min) | Lectura (4ml) | Volumen de agua absorbido (ml) |
| 5 | 4 ml | 0.07 | 5 | 4 ml | 0.08 |
| 10 | 4 ml | 0.09 | 10 | 4 ml | 0.08 |
| 15 | 4 ml | 0.12 | 15 | 4 ml | 0.09 |
| 20 | 4 ml | 0.11 | 20 | 4 ml | 0.11 |
| 25 | 4 ml | 0.08 | 25 | 4 ml | 0.12 |
| 30 | 4 ml | 0.08 | 30 | 4 ml | 0.10 |
| 35 | 4 ml | 0.09 | 35 | 4 ml | 0.08 |
| Total | | 0.64 | Total | | 0.66 |

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior, se obtiene el promedio de volumen total de agua absorbido en la siguiente tabla:

Tabla No. 16
Volumen total de agua absorbido por probeta y promedio general

| agua absorbida en ml. | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | Promedio |
|-----------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| | 0.66 | 0.68 | 0.65 | 0.7 | 0.69 | 0.65 | 0.73 | 0.62 | 0.63 | 0.67 | 0.64 | 0.66 | 0.665 |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se decidió utilizar la mezcla para el recubrimiento de mucílago de nopal con cal y como aglutinante el agua por razón de costos.

4.4 SOMETIMIENTO DE PROBETAS FINALES A PRUEBAS DE CARGA Y DEFORMACIÓN

Se elaboraron 10 probetas para probar la carga y con ella la deformación de las mismas, tomando en cuenta que la versión final de las mismas por los resultados obtenidos con la permeabilidad son las elaboradas con sustrato de cartón corrugado, agua como aglutinante para reducir costos y recubrimiento de mucílago de nopal con cal.

Para realizar las pruebas se utilizaron la Prensa Triaxial y la Prensa V.R.S. cinco por cada tipo de prensa.

Los resultados obtenidos en ambas prensas fueron los siguientes:

Tabla No. 17
Pruebas de carga y deformación en prensa triaxial

| Probeta CAR01 | | Probeta CAR02 | |
|---|----------------------------|--|----------------------------|
|  | |  | |
| Dimensiones | 8.70cm x 9.37cm x h11.2 cm | Dimensiones | 8.70cm x 9.37cm x h11.2 cm |
| Carga (Kilos) | Deformación mm | Carga (KgF) | Deformación mm |
| 0.8 | 0.03 | 0.8 | 0.03 |
| 1.5 | 0.09 | 1.4 | 0.09 |
| 2.2 | 0.16 | 2.3 | 0.16 |
| 3.0 | 0.23 | 2.9 | 0.23 |
| 4.2 | 0.34 | 3.9 | 0.34 |
| 4.9 | 0.39 | 4.7 | 0.39 |
| 5.8 | 0.45 | 5.5 | 0.45 |
| 7.2 | 0.54 | 7.0 | 0.54 |
| 8.1 | 0.60 | 7.9 | 0.60 |
| 9.4 | 0.70 | 9.2 | 0.70 |
| 10.5 | 0.78 | 10.4 | 0.78 |
| 11.8 | 0.90 | 11.7 | 0.90 |
| 13.0 | 0.96 | 12.8 | 0.96 |
| 14.3 | 1.05 | 14.1 | 1.05 |
| 15.9 | 1.13 | 15.3 | 1.13 |
| 16.8 | 1.20 | 16.6 | 1.20 |
| 18.6 | 1.30 | 17.9 | 1.30 |
| 20.3 | 1.38 | 20.0 | 1.38 |
| 23.2 | 1.50 | 22.9 | 1.50 |
| 28.1 | 1.65 | 26.6 | 1.65 |
| 31.5 | 1.75 | 30.0 | 1.75 |
| 34.5 | 1.83 | 33.7 | 1.83 |
| 45.8 | 2.30 | 42.9 | 2.30 |
| 58.0 | 2.70 | 47.0 | 2.70 |
| 64.6 | 2.93 | 64.6 | 2.93 |
| 77.5 | 3.42 | 76.5 | 3.42 |
| 89.8 | 3.90 | 87.7 | 3.90 |
| 102.1 | 4.70 | 100.4 | 4.70 |
| 115.8 | 5.50 | 117.3 | 5.50 |
| 129.2 | 6.40 | 125.5 | 6.40 |
| 139.3 | 7.10 | 148.1 | 7.10 |
| 163.5 | 8.00 | | |

| Probeta CAR03 | | Probeta CAR04 | |
|---|----------------------------|--|----------------------------|
|  | |  | |
| Dimensiones | 8.70cm x 9.37cm x h11.2 cm | Dimensiones | 8.70cm x 9.37cm x h11.2 cm |
| Carga (KgF) | Deformación mm | Carga (KgF) | Deformación mm |
| 0.7 | 0.03 | 0.9 | 0.03 |
| 1.3 | 0.09 | 1.7 | 0.09 |
| 2.5 | 0.16 | 2.3 | 0.16 |
| 3.3 | 0.23 | 3.2 | 0.23 |
| 4.1 | 0.34 | 4.5 | 0.34 |
| 5.0 | 0.39 | 5.1 | 0.39 |
| 5.9 | 0.45 | 5.9 | 0.45 |
| 7.3 | 0.54 | 7.4 | 0.54 |
| 8.5 | 0.60 | 8.1 | 0.60 |
| 9.6 | 0.70 | 9.4 | 0.70 |
| 10.8 | 0.78 | 10.7 | 0.78 |
| 12.1 | 0.90 | 12.1 | 0.90 |
| 13.2 | 0.96 | 13.3 | 0.96 |
| 14.5 | 1.05 | 14.6 | 1.05 |
| 15.8 | 1.13 | 16.4 | 1.13 |
| 17.2 | 1.20 | 17.3 | 1.20 |
| 18.4 | 1.30 | 18.3 | 1.30 |
| 19.8 | 1.38 | 19.2 | 1.38 |
| 23.3 | 1.50 | 23.0 | 1.50 |
| 28.8 | 1.65 | 28.6 | 1.65 |
| 31.6 | 1.75 | 31.7 | 1.75 |
| 34.9 | 1.83 | 34.8 | 1.83 |
| 42.9 | 2.30 | 45.1 | 2.30 |
| 60.1 | 2.70 | 58.4 | 2.70 |
| 66.4 | 2.93 | 65.8 | 2.93 |
| 76.3 | 3.42 | 78.4 | 3.42 |
| 91.1 | 3.90 | 91.0 | 3.90 |
| 116.3 | 4.70 | 107.2 | 4.70 |
| 127.5 | 5.50 | 117.1 | 5.50 |
| 133.6 | 6.40 | 129.6 | 6.40 |
| 157.6 | 7.10 | 150.0 | 7.10 |
| 165.7 | 8.00 | 162.1 | 8.00 |

| Probeta CAR05 | |
|---|----------------------------|
|  | |
| Dimensiones | 8.70cm x 9.37cm x h11.2 cm |
| Carga (KgF) | Deformación mm |
| 0.8 | 0.03 |
| 1.6 | 0.09 |
| 2.4 | 0.16 |
| 2.9 | 0.23 |
| 4.4 | 0.34 |
| 4.8 | 0.39 |
| 5.9 | 0.45 |
| 7.4 | 0.54 |
| 8.0 | 0.60 |
| 9.6 | 0.70 |
| 10.7 | 0.78 |
| 12.1 | 0.90 |
| 13.5 | 0.96 |
| 15.0 | 1.05 |
| 16.2 | 1.13 |
| 16.5 | 1.20 |
| 18.7 | 1.30 |
| 20.1 | 1.38 |
| 23.1 | 1.50 |
| 28.0 | 1.65 |
| 31.2 | 1.75 |
| 34.9 | 1.83 |
| 45.9 | 2.30 |
| 55.1 | 2.70 |
| 63.2 | 2.93 |
| 76.5 | 3.42 |
| 89.8 | 3.90 |
| 112.7 | 4.70 |
| 116.3 | 5.50 |
| 126.5 | 6.40 |
| 139.8 | 7.10 |
| 162.6 | 8.00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. 18
Pruebas de carga y deformación en prensa T.R.S.

| Probeta CAR06 | | Probeta CAR07 | |
|---|----------------|---|----------------|
|  | |  | |
| Dimensiones | | Dimensiones | |
| Carga Kg | Deformación mm | Carga (KgF) | Deformación mm |
| 2 | 0.254 | 3 | 0.254 |
| 4 | 0.508 | 7 | 0.508 |
| 7 | 0.762 | 10 | 0.762 |
| 9 | 1.016 | 16 | 1.016 |
| 13 | 1.27 | 21 | 1.27 |
| 15 | 1.524 | 27 | 1.524 |
| 20 | 1.778 | 33 | 1.778 |
| 24 | 2.032 | 40 | 2.032 |
| 27 | 2.286 | 49 | 2.286 |
| 34 | 2.54 | 55 | 2.54 |
| 40 | 2.794 | 60 | 2.794 |
| 45 | 3.048 | 63 | 3.048 |
| 52 | 3.302 | 70 | 3.302 |
| 61 | 3.556 | 77 | 3.556 |
| 67 | 3.81 | 85 | 3.81 |
| 10 | 4.064 | 92 | 4.064 |
| 16 | 4.318 | 96 | 4.318 |
| 84 | 4.572 | 105 | 4.572 |
| 91 | 4.826 | 110 | 4.826 |
| 96 | 5.08 | 113 | 5.08 |
| 102 | 5.334 | 123 | 5.334 |
| 107 | 5.588 | 126 | 5.588 |
| 114 | 5.842 | 132 | 5.842 |
| 120 | 6.096 | 137 | 6.096 |
| 124 | 6.35 | 140 | 6.35 |
| 132 | 6.604 | 148 | 6.604 |
| 135 | 6.858 | 150 | 6.858 |
| 146 | 7.112 | 154 | 7.112 |
| 150 | 7.366 | 160 | 7.366 |
| 154 | 7.62 | 161 | 7.62 |
| 159 | 7.874 | 162 | 7.874 |
| 160 | 8.128 | 170 | 8.128 |
| 164 | 8.382 | 171 | 8.382 |
| 171 | 8.636 | 171 | 8.636 |
| 174 | 8.89 | 174 | 8.89 |
| | | 179 | 9.144 |
| | | 183 | 9.398 |
| | | 185 | 9.652 |
| | | 188 | 9.906 |
| | | 189 | 10.16 |
| | | 190 | 10.414 |

| Probeta CAR08 | | Probeta CAR09 | |
|---|----------------|--|----------------|
|  | |  | |
| Dimensiones | | Dimensiones | |
| Carga (KgF) | Deformación mm | Carga (KgF) | Deformación mm |
| 4 | 0.254 | 2 | 0.254 |
| 9 | 0.508 | 4 | 0.508 |
| 15 | 0.762 | 6 | 0.762 |
| 22 | 1.016 | 9 | 1.016 |
| 28 | 1.27 | 12 | 1.27 |
| 34 | 1.524 | 16 | 1.524 |
| 41 | 1.778 | 20 | 1.778 |
| 47 | 2.032 | 24 | 2.032 |
| 53 | 2.286 | 29 | 2.286 |
| 60 | 2.54 | 35 | 2.54 |
| 68 | 2.794 | 41 | 2.794 |
| 74 | 3.048 | 46 | 3.048 |
| 82 | 3.302 | 53 | 3.302 |
| 89 | 3.556 | 60 | 3.556 |
| 95 | 3.81 | 68 | 3.81 |
| 103 | 4.064 | 70 | 4.064 |
| 110 | 4.318 | 77 | 4.318 |
| 113 | 4.572 | 85 | 4.572 |
| 119 | 4.826 | 90 | 4.826 |
| 126 | 5.08 | 97 | 5.08 |
| 134 | 5.334 | 104 | 5.334 |
| 138 | 5.588 | 108 | 5.588 |
| 142 | 5.842 | 115 | 5.842 |
| 151 | 6.096 | 119 | 6.096 |
| 154 | 6.35 | 126 | 6.35 |
| 159 | 6.604 | 133 | 6.604 |
| 162 | 6.858 | 135 | 6.858 |
| 169 | 7.112 | 146 | 7.112 |
| 173 | 7.366 | 148 | 7.366 |
| 178 | 7.62 | 151 | 7.62 |
| 180 | 7.874 | 157 | 7.874 |
| 183 | 8.128 | 157 | 8.128 |
| 186 | 8.382 | 163 | 8.382 |
| 194 | 8.636 | 172 | 8.636 |

| Probeta CAR10 | |
|---|----------------|
|  | |
| Dimensiones | |
| Carga (KgF) | Deformación mm |
| 4 | 0.254 |
| 8 | 0.508 |
| 9 | 0.762 |
| 15 | 1.016 |
| 22 | 1.27 |
| 25 | 1.524 |
| 30 | 1.778 |
| 38 | 2.032 |
| 47 | 2.286 |
| 56 | 2.54 |
| 60 | 2.794 |
| 64 | 3.048 |
| 71 | 3.302 |
| 78 | 3.556 |
| 56 | 3.81 |
| 93 | 4.064 |
| 97 | 4.318 |
| 104 | 4.572 |
| 112 | 4.826 |
| 115 | 5.08 |
| 123 | 5.334 |
| 127 | 5.588 |
| 133 | 5.842 |
| 139 | 6.096 |
| 142 | 6.35 |
| 148 | 6.604 |
| 152 | 6.858 |
| 155 | 7.112 |
| 160 | 7.366 |
| 162 | 7.62 |
| 164 | 7.874 |
| 171 | 8.128 |
| 173 | 8.382 |
| 174 | 8.636 |
| 180 | 8.89 |

Fuente: elaboración propia.

Los kilogramos fuerza soportados muestran un buen desempeño ya que por encima de 150 las deformaciones no superan los 8.89 milímetros como máximo en las losas elaboradas con los materiales ya señalados.

4.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO IMPRESO EN 3D

Una vez que se realizaron las pruebas en las probetas, se procedió a elaborar los moldes y casetones con el sustrato (cartón corrugado), aglutinante (agua), recubrimiento (mucílago de nopal con cal).

El primer paso consistió en elaborar el molde del casetón en escala real mediante un prototipo con las siguientes medidas: 40cm x 40 cm x 20cm, esta medida es de las más usuales en la construcción con las nervada que utiliza casetón a base de EPS.

Para desarrollar el prototipo se utilizó el software DS Max, ajustando el mismo a las medidas para imprimir en 3D en la impresora Creality CR10S Pro.

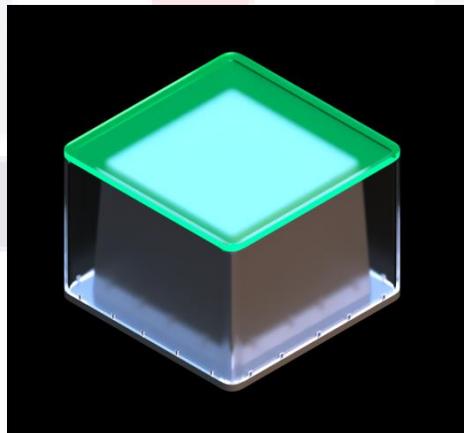


Imagen No. 12
Prototipo de modelo 3d (base, muros y tapa)

Para el diseño del molde, se tomaron en cuenta la base, muros y tapa. El modelo se imprimió en 4 secciones por cada elemento (base, muros y tapa), en total se utilizaron 12 impresiones.

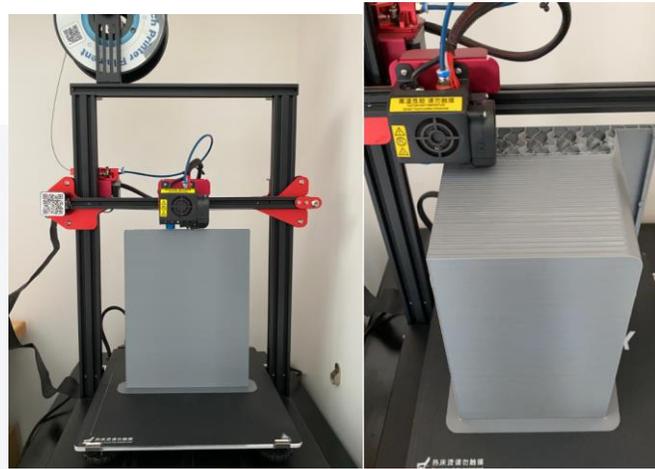


Imagen No. 13
Impresora Creaform CR10S PRO

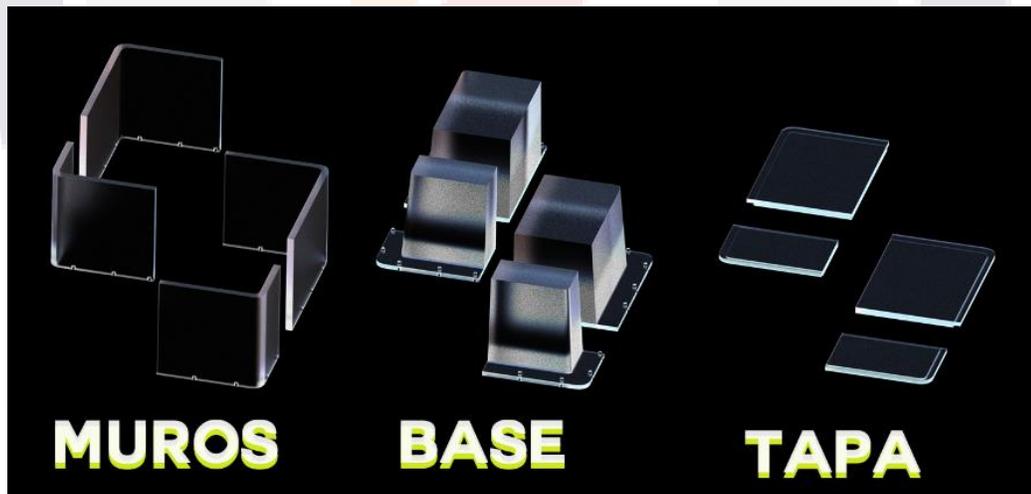
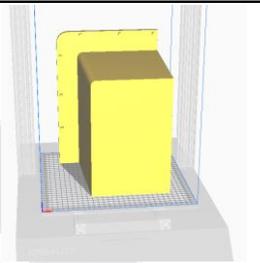
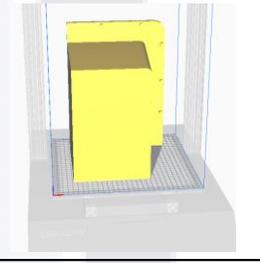
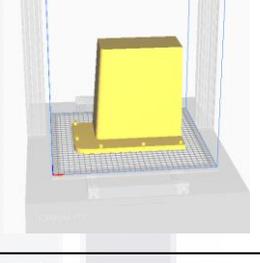
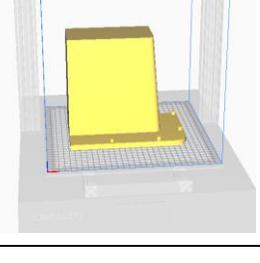


Imagen No. 14
Elementos a imprimir (piezas)

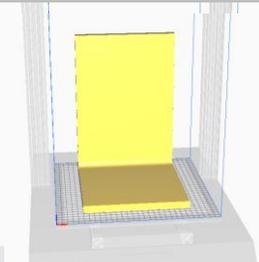
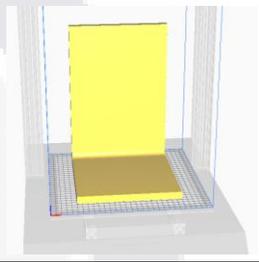
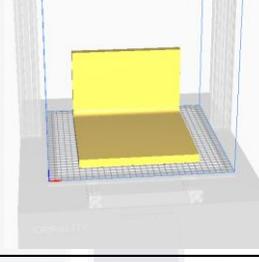
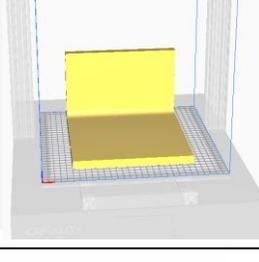
El proceso de impresión en tiempos y costos de observa en la siguiente tabla.

Tabla No. 19
Proceso de impresión (parte 1)

| Proceso de Impresión | | | | | | |
|----------------------|---------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|---|
| Pieza | Tiempo de Impresión | Material PLA(gr) | Costo PLA 1kg \$418.00 | Consumo 0.05 KWh | Costo x KWh CFE \$1.02 | Imagen |
| Base 01 | 2d 7h 9m | 903 | \$ 377.45 | 2.76 | \$ 2.81 |  |
| Base 02 | 2d 7h 6m | 902 | \$ 377.00 | 2.76 | \$ 2.81 |  |
| Base 03 | 1d 1h 30m | 399 | \$ 166.78 | 1.28 | \$ 1.30 |  |
| Base 04 | 1d 1h 31m | 398 | \$ 166.36 | 1.28 | \$ 1.30 |  |

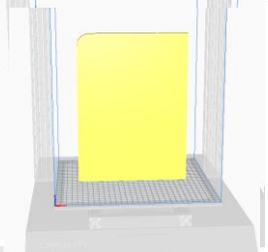
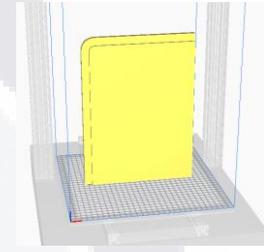
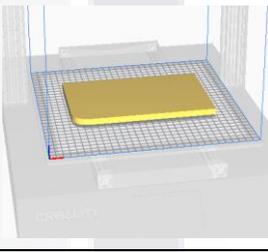
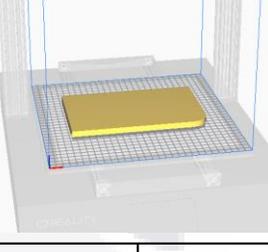
Fuente: elaboración propia.

Tabla No. 20
Proceso de impresión (parte 2)

| Proceso de Impresión | | | | | | |
|----------------------|---------------------|------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------|---|
| Pieza | Tiempo de Impresión | Material PLA(gr) | Costo PLA 1kg \$418.00 | Consumo 0.05 KWh | Costo x KWh CFE \$1.02 | Imagen |
| Muro 01 | 1d 5h 33m | 399 | \$ 166.78 | 1.48 | \$ 1.50 |  |
| Muro 02 | 1d 5h 30m | 398 | \$ 166.36 | 1.48 | \$ 1.50 |  |
| Muro 03 | 20h 12m | 275 | \$ 114.95 | 1.01 | \$ 1.03 |  |
| Muro 04 | 20h 9m | 274 | \$ 114.53 | 1 | \$ 1.02 |  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. 21
Proceso de impresión (parte 3)

| Pieza | Tiempo de Impresión | Material PLA(gr) | Costo PLA 1kg \$418.00 | Consumo 0.05 KWh | Costo x KWh CFE \$1.02 | Imagen |
|----------------|---------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|---|
| Tapa 01 | 19h 11m | 258 | \$ 107.84 | 0.96 | \$ 0.98 |  |
| Tapa 02 | 19h 11m | 258 | \$ 107.84 | 0.96 | \$ 0.98 |  |
| Tapa 03 | 9h 31m | 130 | \$ 54.34 | 0.48 | \$ 0.49 |  |
| Tapa 04 | 9h 32m | 130 | \$ 54.34 | 0.48 | \$ 0.49 |  |
| Totales | 17d 5m | 4724 | \$1,974.57 | 15.93 | \$ 16.21 | |

Fuente: elaboración propia.

El pegado de los elementos se realizó con silicón en frío, se logró que el diseño incluyera elementos que facilitan el anclaje tanto de la base a los muros, así como a la tapa.

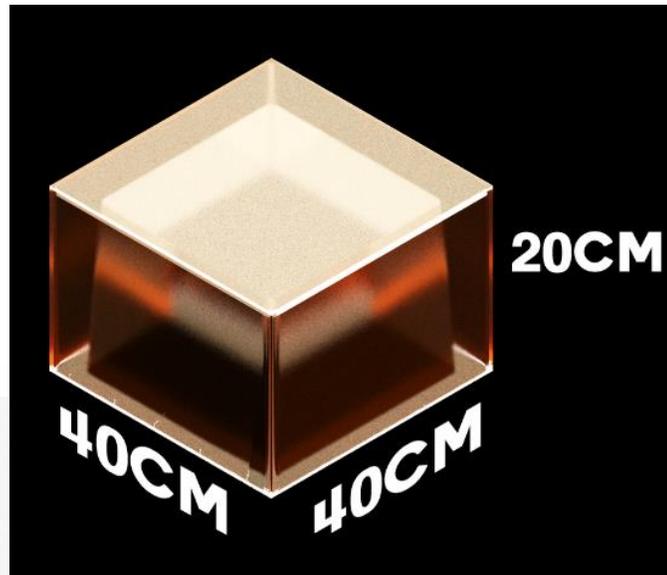


Imagen No. 15
Geometría final del casetón producido con molde

4.6 ELABORACIÓN DEL CASETÓN CON LA MEZCLA DE SUSTRATO DE CARTÓN CORRUGADO, AGUA COMO AGLUTINANTE Y RECUBRIMIENTO DE MUCÍLAGO DE NOPAL

Una vez diseñado y armado el prototipo de casetón y realizadas las pruebas en probetas al material en cuanto a permeabilidad, resistencia y deformación por debajo del mínimo permitido, se procedió a realizar el paso final que es la elaboración de un casetón y su implementación.

4.6.1 Proceso de elaboración de las mezclas y el casetón

Se utilizó cartón corrugado adquirido con un buen grado de trituración para realizar su preparación en una licuadora de uso doméstico con capacidad de 1.25 litros, agregando 65gramos de cartón pesados en báscula.



Imagen No. 16
Pesaje del cartón corrugado

Una vez que se pesa, se agregan 5 tazas de aglutinante que es agua purificada. Al licuar se obtiene una mezcla homogénea.



Imagen No. 17
Sustrato y aglutinante listos para mezclar

El siguiente paso es filtrar la pulpa obtenida, lo que se realizó por medios mecánicos (tela de manta), al finalizar se recuperaron 4 tazas de aglutinante que se reutilizan para una posterior mezcla.

En el prototipo o molde impreso, se vacía la mezcla obtenida, iniciando por los muros del casetón.

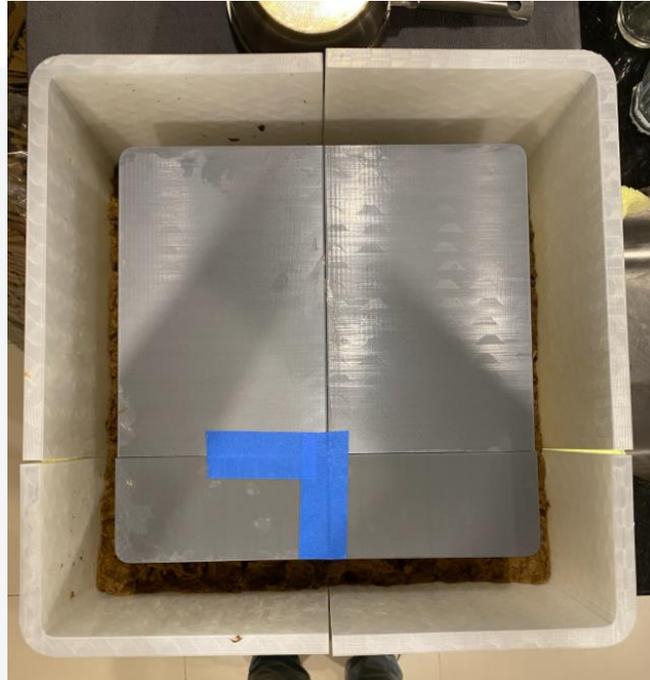


Imagen No. 18
Molde ya ensamblado, se puede apreciar el relleno de mezcla

Una vez relleno el molde se utiliza la tapa para compactar más la mezcla y obtener una superficie plana. El proceso de secado varía de acuerdo a la temperatura y ciertas condiciones ambientales, en este caso, el tiempo de secado fue de 10 días.



Imagen No. 19

Proceso de secado del casetón una vez retirada la tapa y los muros del prototipo

Cuando ya estuvo seco el casetón, se realizó el recubrimiento con el mucílago de nopal, donde una porción utilizó los siguientes ingredientes:

- 900gr de hoja de nopal
- 1 lt agua
- 100gr de sal



Imagen No. 20

Casetón con recubrimiento totalmente seco (peso aproximado 2kg.)

Al casetón se le aplicaron dos capas de recubrimiento, utilizando 50 ml. de la mezcla descrita

4.7 EXPERIMENTO, ESCALA Y CONDICIONES REALES

Para finalizar la investigación experimental, se elaboró una cimbra para contener al casetón con medidas de 40x40x20cm y la cimbra con medidas de 70cm x 70cm x 27cm.



Imagen No. 21
Casetón y cimbra utilizadas



Imagen No. 22
Resistencia del casetón con carga de una persona adulta con peso de 74 kg.

Se colocaron los elementos que recibirían la mezcla de concreto, la cual se realizó tomando en cuenta que su uso será como un elemento para losa.

El diseño de la mezcla de concreto fue con una resistencia $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ que es el que cumple con la Norma Mexicana NMX-C414-ONNCCE. Una vez hecha la mezcla se procede a verter el concreto en la cimbra.



Imagen No. 23
Mezcla de concreto $f'c=200\text{kg/cm}^2$



Imagen No. 24
Concreto con carga adicional de una persona simulando una situación real

Una de las características observadas fue el humedecimiento del casetón en sus capas superiores, pero que, podrían a llegar a evaluarse en un futuro para continuar con la investigación ya que está comprobado que el hecho de mantener cierta humedad puede ayudar a que el concreto cuente con un mejor curado evitando rupturas o agrietamientos.

Una vez transcurridos los primeros 7 días, debería contar con una resistencia 65%, procediendo al retiro de la cimbra.



Imagen No. 25
Concreto con retiro de cimbra después de siete días

Se observa el buen comportamiento del casetón con el concreto donde si bien no fue totalmente impermeable, funciona en condiciones de trabajo, conservando su geometría y resistencia ante los esfuerzos que surgen en un colado de losa nervada.



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de resultados se divide en dos partes, en la primera parte se analizan aquellos obtenidos en las pruebas de laboratorio con las probetas diseñadas a base de sustrato de cartón corrugado con aglutinante de mucílago de nopal (que para la muestra final se sustituye por agua para economizar costos, pero sin impacto en sus resultados) y como recubrimiento mucílago de nopal con cal.

En la segunda parte se analizan los resultados a partir del prototipo y la generación del casetón de cartón corrugado.

5.1 ANÁLISIS DE VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDO EN LA PROBETAS

Se realizaron doce pruebas a las probetas, tal y como se mostraron en el capítulo anterior, el objetivo de la misma era conocer la absorción de agua, por lo que se realizaba una lectura cada 4ml y se verificaba el volumen de agua absorbido por la muestra. Los intervalos de tiempo eran de 5 minutos iniciando en este número hasta llegar a 35 minutos.

La tabla de los resultados de las 12 probetas es la siguiente:

Tabla No. 22
Resultados de permeabilidad por probeta en minutos por cada 4 ml.

| Tiempo | Absorción de agua en mililitros | | | | | | | | | | | |
|--------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| | Probeta 1 | Probeta 2 | Probeta 3 | Probeta 4 | Probeta 5 | Probeta 6 | Probeta 7 | Probeta 8 | Probeta 9 | Probeta 10 | Probeta 11 | Probeta 12 |
| 00:05 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.08 | 0.11 | 0.07 | 0.1 | 0.11 | 0.07 | 0.08 |
| 00:10 | 0.1 | 0.11 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.12 | 0.07 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.08 |
| 00:15 | 0.07 | 0.12 | 0.12 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.09 |
| 00:20 | 0.11 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.11 |
| 00:25 | 0.09 | 0.06 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.1 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.12 |
| 00:30 | 0.12 | 0.11 | 0.08 | 0.11 | 0.12 | 0.1 | 0.1 | 0.09 | 0.07 | 0.12 | 0.08 | 0.1 |
| 00:35 | 0.09 | 0.1 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.12 | 0.1 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 |

Fuente: elaboración propia

Los rangos de absorción en la tabla sin importar la medida de tiempo en que se generó de, 0.12 ml. por cada cinco minutos y el rango mínimo es de 0.6 ml al vaciar 4 ml. cada cinco minutos, lo que habla de un bajo nivel de permeabilidad que se ubica entre el 3 y el 1.5%.

Los promedios por probeta de permeabilidad son los siguientes:

Tabla No. 23
Promedios en frecuencia y porcentaje de grado de permeabilidad por cada 4 mililitros de 5 a 35 minutos por probeta

| Probeta | Frecuencia Promedio | Porcentaje Promedio |
|---------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0.094 | 2.4% |
| 2 | 0.097 | 2.4% |
| 3 | 0.093 | 2.3% |
| 4 | 0.100 | 2.5% |
| 5 | 0.099 | 2.5% |
| 6 | 0.093 | 2.3% |
| 7 | 0.104 | 2.6% |
| 8 | 0.089 | 2.2% |
| 9 | 0.090 | 2.3% |
| 10 | 0.096 | 2.4% |
| 11 | 0.091 | 2.3% |
| 12 | 0.094 | 2.4% |

Fuente: elaboración propia

El resultado en lo referente a la permeabilidad es eficiente y positivo ya que muestra valores muy bajos para ser considerados como una deficiencia en la fabricación de casetones a base de cartón corrugado.

En cuanto a la comparación con el casetón de EPS, muestra niveles iguales o inferiores con respecto a la absorción de agua.

“El poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días). Nuevos desarrollos en las materias primas resultan en productos con niveles de absorción de agua aún más bajos.” ANAPE (S/A).

Si tomamos en cuenta los promedios de 2.3 y 2.4% el casetón de cartón corrugado tiene características similares en este aspecto contra el casetón de EPS.

5.2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA CARGA DEL CASETÓN FABRICADO CON CARTÓN CORRUGADO

Como se mostró en el capítulo anterior, se realizaron 10 pruebas con probetas elaboradas a base de cartón corrugado, 5 de ellas en prensa triaxial y 5 en prensa V.R.S.

Las probetas se sometieron a diferentes cargas mostradas en kilos fuerza para conocer su deformación y con ello identificar su capacidad de resistencia a la carga.

En la prensa triaxial las cargas mínimas fueron de 0.8 kilos y las máximas de 165.7 kilos. En la prensa V.R.S. las mínimas fueron de 2 kilos y las máximas de 190 kilos.

Tabla No. 24
Mínimos y máximos de carga en kilos fuerza y deformación de probetas en prensas

| Probeta | Tipo de prensa | Carga en kilos fuerza | | Deformación en milímetros | |
|-------------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------------------|-------------|
| | | Minima | Máxima | Minima | Máxima |
| 1 | Triaxial | 0.80 | 163.5 | 0.03 | 8 |
| 2 | Triaxial | 0.80 | 148.1 | 0.03 | 7.1 |
| 3 | Triaxial | 0.70 | 167.5 | 0.03 | 8 |
| 4 | Triaxial | 0.90 | 162.1 | 0.03 | 8 |
| 5 | Triaxial | 0.80 | 162.6 | 0.03 | 8 |
| 6 | V.R.S. | 2.00 | 174 | 0.254 | 8.89 |
| 7 | V.R.S. | 3.00 | 190 | 0.254 | 10.41 |
| 8 | V.R.S. | 4.00 | 194 | 0.254 | 8.63 |
| 9 | V.R.S. | 2.00 | 172 | 0.254 | 8.63 |
| 10 | V.R.S. | 4.00 | 180 | 0.254 | 8.89 |
| Promedio Triaxial | | 0.80 | 160.76 | 0.03 | 7.82 |
| Promedio V.R.S. | | 3.00 | 182.00 | 0.25 | 9.09 |

Fuente: elaboración propia

Como se observa, la deformación con una carga de más de 160 kilos fuerza no supera los 7.82 milímetros y con más de 180 kilos fuerza los 9.09 milímetros. Si se toma en cuenta las medidas de la probeta que son 8.70 x 9.37 x 11.2 centímetros, siendo el volumen de 9.13 centímetros, con una carga máxima de 162 kilos es de 8.76% y con carga de 180 kilos es de 9.63%.

En el caso del poliestireno se señala entre sus propiedades a la resistencia a la compresión muestra una deformación del 10% (ANAPE, S/A). Por lo que se demuestra que el casetón de cartón corrugado muestra la misma o menor compresión que el casetón elaborado con EPS.

5.3 COSTO DE ELABORACIÓN DEL CASETÓN

Otra característica que debe compararse es el costo de elaboración del casetón. Cabe señalar que la comparación no pretende ser semejante, ya que el casetón de EPS se elabora en grandes volúmenes, mientras que el casetón de cartón corrugado elaborado para la investigación es por decirlo de alguna forma, artesanal.

Sin tomar en cuenta el costo del prototipo, un casetón con las dimensiones ya señaladas tuvo un costo de \$23.03 pesos de acuerdo a los materiales utilizados.

Tabla No. 25
Costos de elaboración del casetón de cartón corrugado

| | Cantidad | Precio Unitario | Total |
|----------------------|----------|-----------------|----------|
| Cartón kg | 1.8 | \$ 0.75 | \$ 1.35 |
| Agua It | 21.5 | \$ 0.05 | \$ 1.08 |
| Baba Nopal It | 1 | \$ 16.00 | \$ 16.00 |
| Sal gr | 100 | \$ 0.05 | \$ 4.60 |
| Total | | | \$ 23.03 |

Fuente: elaboración propia

El costo aproximado de un casetón de cartón estaría en \$23.03 solo de materia prima, aún no están contemplados los costos indirectos, pero ya se puede ver un proceso que de industrializarse traería también un atractivo económico.

Realizando un análisis de costos, se encontró en la página de homedepot, el casetón de poliestireno de las mismas medidas tiene un costo de \$39.00.

COVINTEC SKU#160135 MODELO:160135

CASETÓN DE POLIESTIRENO MATE 20 X 40 X 40 CM

★★★★★ 5.0 (8) Califica este producto

\$39⁰⁰

Precios y disponibilidad válidos en tienda en línea Coapa del Hueso, Ciudad de México al 10 Jun 2021, sujetos a cambio sin previo aviso.

Casetón poliestireno mate 20 x 40 x 40 cm Covintec es de fácil ajuste al espesor, estructura o diseño deseado, brinda ligereza y durabilidad a las cimbras, además, está fabricado en material auto extingible que evita la propagación del fuego.

Imagen No. 26

Costo del casetón de EPS con medidas iguales al elaborado con cartón corrugado

<https://www.homedepot.com.mx/materiales-de-construccion/basicos-de-construccion/aislante/caseton-40x40x20-160135>

Se observa que el casetón de EPS cuesta 69% más que el casetón elaborado a base de cartón corrugado.

5.4 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis de investigación fue la siguiente:

Hipótesis de investigación

Las losas nervadas elaboradas con cartón corrugado reciclado en sustitución del EPS responden en aspectos de resistencia de carga, permeabilidad y deformación con mayor o igual grado de confiabilidad que las fabricadas con EPS e impactan en menor grado al deterioro ambiental por contaminación y desechos de la construcción que las elaboradas con EPS.

Referencia: Tabla No. 5
Hipótesis y variables de investigación

| Hipótesis | Variable Independiente | Variable dependiente |
|---|--|--|
| 1. Las losas nervadas elaboradas con cartón corrugado en sustitución del EPS responden en aspectos de resistencia, permeabilidad, resistencia de carga y deformación con mayor o igual grado de confiabilidad que las fabricadas con EPS. | Material de fabricación (cartón corrugado) vs (Poliestireno expandido) | Resistencia de carga, permeabilidad y deformación mayor o igual al EPS |
| 2. La elaboración de losas nervadas con cartón corrugado, impactan en menor grado al deterioro medioambiental desde el proceso de elaboración, construcción y desecho de materiales de la construcción. | Losas nervadas elaboradas con cartón corrugado. | Disminución del deterioro medioambiental en la elaboración, construcción y desecho de materiales de la construcción. |

Fuente: Elaboración propia.

Al manipular la primera variable dependiente se encontró que la afirmación de la primera parte de la hipótesis es CIERTA, comprobado a partir de los análisis en laboratorio que las losas nervadas hechas con casetones de cartón corrugado cuentan con igual o menor resistencia a la carga, permeabilidad y deformación que las fabricadas con EPS, por lo que su grado de confiabilidad es bueno para utilizarlas en la industria de la construcción.

En la segunda parte de la hipótesis, en el marco referencial se comprobó que el uso de cartón corrugado sustituyendo al EPS tiene un menor impacto ambiental, por lo que la variable dependiente de es CIERTA.

La hipótesis de investigación como tal resulta CIERTA una vez realizados los pasos para comprobarla de manera fehaciente, afirmando en esta investigación lo declarado en ella.

CONCLUSIONES

Al inicio de la investigación se determinaron los objetivos. Las conclusiones una vez terminada ésta son las siguientes:

El cambio de materia prima sustituyendo al EPS por cartón corrugado fue novedoso y resultó que las características del casetón elaborado son muy parecidas en cuanto a la permeabilidad, resistencia a la carga y deformación con ambos materiales, así se afirma que cualquiera de los dos puede ser utilizado para el diseño y producción de materiales de construcción, en específico, losas nervadas. La utilización para otras aplicaciones puede estudiarse, de acuerdo con los resultados positivos, debería poder utilizarse en cualquier material de la industria de la construcción fabricado a base de EPS.

Un elemento importante a resaltar, es la utilización para la elaboración de los casetones de mucílago de nopal como recubrimiento, resultando ser positivo y exitoso, lo que hace aún más atractivo, la fabricación de losas nervadas con cartón corrugado.

En la investigación, se describieron los pasos para elaborar los casetones a base de cartón corrugado, constituyéndose en principios y directrices para su elaboración, observando que conservaban las características de permeabilidad, resistencia a la carga y deformación que los elaborados con EPS.

En este sentido, cabe destacar que al final de la investigación, se encontró que fue mucho más económico la elaboración del casetón de cartón corrugado de manera artesanal que el elaborado con EPS a gran escala y con maquinaria e instalaciones dedicadas exclusivamente a este fin, lo que lleva a plantear que, si se implementa la fabricación a base de cartón corrugado, puede ser exitosa también en materia económica.

El prototipo o molde elaborado para fabricar los casetones no tuvo un costo alto, pudiendo fabricar también el molde a gran escala.

Además, de fabricarse a gran escala, los materiales utilizados existen de manera abundante en el mercado, además el cartón corrugado en varias empresas se fabrica a partir del cartón reciclado, en el caso de esta investigación, se utilizó este material comprando desechos o recortes del cartón sobrante de cajas y embalajes, el cual está elaborado 100% con papel reciclado de acuerdo a lo señalado por la empresa Bio Pappel, mayor productora de cartón corrugado; lo que hace posible una sinergia entre empresas dedicadas a la fabricación de artículos y piezas de cartón corrugado para usos distintos al de los de la industria de la construcción y la fabricación a gran escala de casetones y de ellos losas nervadas con este material.

La conclusión final es muy satisfactoria también en el ámbito medioambiental, en este punto, se enfoca en un aporte positivo a la preocupación de la sociedad por los efectos al medioambiente que causa la actividad de la construcción a nivel global.

Para finalizar las conclusiones, se anexa la tabla comparativa de las características de los casetones elaborados con EPS y con cartón corrugado.

Tabla No. 26

Comparación de características de las losas y los materiales de elaboración

| Característica | EPS ¹ | Cartón corrugado |
|-----------------------------|------------------|--------------------|
| Porcentaje de permeabilidad | Menor de 4% | 2.40% |
| Resistencia a la compresión | Hasta el 10% | 8.46% ² |

1. Se toma en cuenta el denominado Tipo I de casetones que tiene un espesor de 2.54 cm. semejante al del casetón elaborado.

2. Se toma el promedio de las prensas triaxial y V.R.S.

Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Nacional de Poliestireno Expandido de España (ANAPE). (S/A).

Propiedades físicas. URL:

<https://www.serina.es/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2947&ref>

Consultada el 27/05/2021.

Arenas Cabello, Francisco Julio. (2008). Los materiales de construcción y el medio ambiente. En Revista electrónica de derecho ambiental No. 17. Consultado el 13/04/2017. URL:

https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html

Carrillo Ameneyro, José María. (2019). Estrategias y acciones de gestión sustentable para manejo de residuos de Poliestireno Expandido (EPS). Universidad Autónoma del Estado de México. Documento PDF obtenido el 14/04/2021. URL:

http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104600/UAEM_FAPUR_TESIS_JOSE%20MARIA%20CARRILLO%20AMENEYRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cervantes Abarca, Alejandro y Ramírez Alférez, Alberto (2016) La edificación sustentable (Normativa en México). En Compilación de Artículos de Investigación 2016 del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la Universidad Autónoma Metropolitana. Documento PDF recuperado el 10/04/2021. URL:

https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/congreso_2016/05.pdf

Cervantes García, Luciano y otros (2010). Una construcción elaborada con muros de papel y cartón comprimidos más otros residuos valorizables. En Acta Universitaria Vol. 20 Num 2. Universidad de Guanajuato. Documento PDF obtenido el 03/05/2021. URL:

<https://www.redalyc.org/pdf/416/41613788004.pdf>

CMIC. (2013). Plan de manejo de residuos de la construcción y demolición.

Documento PDF obtenido el 04/02/2021. URL:

<https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>

Cuevas Zúñiga, Ingrid Yadibel y otros. (2015). La adopción de tecnologías limpias para la sustentabilidad: caso de dos empresas del sector de la construcción.

Documento PDF recuperado el 11/04/2021. URL:

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xx/docs/10.13.pdf>

Daniel Martínez, Ixchel. (2018) ¿Por qué debe prohibirse el uso de unicel en la industria alimenticia en México? CIDE. Consultado el 18/04/2021. Sitio web:

<http://derechoenaccion.cide.edu/por-que-debe-prohibirse-el-uso-de-unicel-en-la-industria-alimenticia-en-mexico-i-ii/>

Durán Escamilla, Pino. (S/A). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable.

CONAMA 10. Documento PDF. Recuperado el 02/04/2021. URL:

<http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>

Embalajes Terra. (S/A) Poliestireno expandido. Pagina web consultada el 27/03/2021. URL:

<https://www.embalajesterra.com/blog/poliestireno-expandido-mercancias/>

Enhassi Adnan y otros. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. En de Revista de Ingeniería de Construcción Vol. 29

No. 3. Documento PDF recuperado el 08/04/2021. URL:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000300002

Foronda Naranjo, Lucy Raquel, Palacios Zamora Oscar Antonio. Diseño de un proceso de fabricación de láminas de poliestireno expandido en la provincia de Santa Elena. Documento PDF recuperado el 11/04/2021. URL:
[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/reduq/20468/1/401-1260%20-%20Dise%C3%B1o%20proceso%20de%](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/reduq/20468/1/401-1260%20-%20Dise%C3%B1o%20proceso%20de%20)

García Donas, Ángel, Ainchil Lavin, Javier Pablo (2008). Métodos de comparación de efectos ambientales en el sector de la construcción. Documento PDF recuperado el 11/04/2021. URL:
https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ud_fp_ea/es_def/adjuntos/UD_FP_Construccion%20y%20medio%20ambiente_2004HR.pdf

Gobierno de México. (S/A) Petroquímica. Documento PDF. Obtenido el 16/04/2021. URL:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6970/Petroquimica_final.pdf

Gutiérrez Garza, Esthela. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario. En: Revista Trayectorias. Vol. IX. Num 25. Pp. 45-60. Documento PDF. Recuperado el 11/04/2021. URL:
<https://www.redalyc.org/pdf/607/60715120006.pdf>

Knauf Miret. (2005) Características del poliestireno expandido. Documento PDF. Recuperado el 26/01/2021. URL:
<http://www.davsa.com/infoWeb/Grup/Subgrups/caracteristiques/040101D-20.pdf>

López Ricalde, Carlos David y otros. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. En Horizonte Sanitario Vol. 4 Num. 2. Documento PDF. Recuperado el 12/04/2021. URL:
<https://www.redalyc.org/pdf/4578/457845044002.pdf>

Martínez Martínez, Nuria y otros (2012). Construcción de Paneles estructurales de Poliestireno Expandido. Universidad Politécnica de Cartagena. Documento PDF.

Recuperado el 11/04/2021. URL:

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3076/tfg62.pdf;jsessionid=6D85D04A9DCD61A8DA44EE0C6C49433E?sequence=1>

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MMAMRM) de España. (2009). Producción de Polímeros. Documento PDF. Recuperado el 3/03/2021. URL:

<https://prtr-es.es/data/images/PRODUCCI%C3%93N-DE-POL%C3%8DMEROS-1BDCAAE0950F2E40.pdf>

Mors, Renee. (2018) Perspectivas para promover la sustentabilidad de la industria de la construcción con un enfoque al concreto. Documento PDF obtenido el 07/02/2021. URL:

http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Proyecto_Rene_Mors.pdf

Mulder, Nanno. Albaladejo, Manuel (coords). (2020). El comercio internacional y la economía circular en América Latina y el Caribe. CEPAL. Documento PDF, recuperado el 04/04/2021. URL:

<https://www.cepal.org/es/publicaciones/46618-comercio-internacional-la-economia-circular-america-latina-caribe>

ONU (2000) Agenda 21. Documento PDF. Obtenido el 07/02/2021. URL:

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/recursos/224844/Contenido/H%20programas/23%20Agenda%2021.pdf>

ONU. (2000) Objetivos de desarrollo sostenible. 9. Industria, innovación e infraestructuras. Portal electrónico. Consultado el 14/04/2021. URL:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

NASA Ciencia (2009) La caída de los mayas ellos mismos la ocasionaron. Página web consultada el 04/02/2021. URL:

https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2009/06oct_maya

PROMÉXICO. (2018). Industria de la construcción y sus materiales. Flyer PDF. Recuperado el 13/04/2020. URL:

<http://www.ethic.com.mx/docs/Infografias/sectores/Industria-Construccion-materiales.pdf>

Ramírez-Zazosa, Aureliano. (2002). La construcción sostenible. En Revista electrónica Física y Sociedad No. 13. Documento PDF. Recuperado el 11/04/2021. URL:

https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf

ROLAN (2018). Placas de poliestireno expandido (EPS). Documento PDF. Recuperado el 10/04/2021. URL:

https://www.rolan.com/wp-content/uploads/2018/04/CO_Poliestireno-expandido_Abr18.pdf

Secretaría de Economía (SE). Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013. Edificación sustentable. Criterios y requerimientos ambientales mínimos. Documento PDF recuperado el 14/04/2021. URL:

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>

SEMARNAT (2021) Diferencia entre sustentable y sostenible. Blog. Consultado el 13/04/2021. URL:

<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>

Tecnologías Renueva S.A. de C.V. (2018) Plan Nacional de Manejo de Residuos de EPS. Documento PDF. Obtenido el 16/04/2021. URL:

<https://cristinacortinas.org/sustentabilidad/download/plan-de-manejo-de-poliestireno-expandido-unicel/>

WWF (2020). Informe planeta vivo 2020. Documento PDF. Recuperado el 11/04/2021. URL:

https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/infomeplanetavivo_2020_resumen_1.pdf

Zarta Ávila, Plinio. (2017). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. En Tabula Rasa No. 28. pp 409-423. Documento PDF Recuperado el 13/04/2021. URL:

<http://www.scielo.org.co/pdf/tara/n28/1794-2489-tara-28-00409.pdf>

