

**MATERIALES NATURALES ALTERNATIVOS A LA FIBRA DE VIDRIO EN LOS
PRFV EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO**

ANDREA CAROLINA VARGAS GUZMAN

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTION AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

**MATERIALES NATURALES ALTERNATIVOS A LA FIBRA DE VIDRIO EN LOS
PRFV EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO**

ANDREA CAROLINA VARGAS GUZMAN

**Monografía para optar el título de Especialista en
Gestión ambiental**

Orientador(a):

**JIMMY EDGAR ALVAREZ DIAZ
Biólogo, Doctor en Gestión Ambiental**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN GESTION AMBIENTAL
BOGOTA D.C.
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., marzo de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefía Herrera Vargas

Secretario General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios ya que me ha dado la sabiduría y me ha permitido realizar este documento con el fin de obtener el título de especialista.

A mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de la realización del documento, además de su disposición para brindarme consejos durante esta etapa.

A mi tía María Mercedes quien me apoyó económicamente desde el inicio de la especialización hasta su culminación.

Al profesor Jimmy Edgar Álvarez quien me dio las pautas necesarias durante todo el proceso documental.

Finalmente a todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron durante la realización del trabajo y me dieron fortaleza para finalizarlo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL Y LEGAL	17
1.1 RUIDO ACUSTICO Y SU IMPACTO AMBIENTAL	17
1.2 AISLAMIENTO ACUSTICO	21
1.3 MEDIDAS DE MANEJO: SISTEMAS Y MATERIALES AISLANTES	21
1.3.1 Materiales aislantes acústicos	22
1.4 PLASTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)	25
1.4.1 Resinas plásticas utilizadas en los PRFV	26
1.4.2 Las fibras de vidrio en los PRFV, clasificación y sus procesos de producción.	28
1.4.2.1 Fibrización rotativa	30
1.4.2.2 Atenuación por flama.	30
1.5 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LOS PRFV	31
1.5.1 Tinte combinado	31
1.5.2 Inyección por vacío	31
1.5.3 Moldeo por compresión	31
1.5.4 Moldeo por inyección	32
1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PRFV	32
2. ANALISIS CICLO DE VIDA DE LOS PRFV EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO CON BASE A ESTUDIOS REALIZADOS	35
2.1 INVENTARIO DE ENTRADAS Y SALIDAS (PRFV)	36
2.1.1 Selección de panel (PRFV) en base al inventario de entradas y salidas.	38
2.2 EVALUACION Y ANALISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES (PRFV)	40
3. MATERIALES COMPUESTOS NATURALES PRFN AISLANTES ACUSTICOS SUSTITUTOS A LA FIBRA DE VIDRIO EN LOS PRFV.	46
3.1 MATERIALES NATURALES COMPUESTOS PRFN, SU AISLAMIENTO ACUSTICO EN BASE A LA RESINA	48
3.2 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE KENAF	49
3.3 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE COCO	52
3.4 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE YUTE	53
3.5 COMPARACION DE MATERIALES PRFV-PRFN EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO	55
4. COMPARACION DE LOS PRFN Y EL PRFV UTILIZANDO METODOLOGIA DEL ESTANDAR P5	56
4.1 ANALISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES	63

4.1.1 Estimulación económica	63
4.1.2 Energía	63
4.1.3 Residuos	64
4.1.4 Agua.	64
4.2 ANALISIS DE RESULTADOS: IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN AISLAMIENTO ACUSTICO DE LOS MATERIALES	65
5. CONCLUSIONES	67
6. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1 Estándares máximos permisibles de ruido	18
Cuadro 2 Normatividad sobre ruido	19
Cuadro 3 Efectos sobre la salud causadas por el ruido	20
Cuadro 4 Coeficiente de absorción de algunos materiales aislantes	23
Cuadro 5 Propiedades de las resinas utilizadas en los PRFV	27
Cuadro 6 Clasificación de las fibras de vidrio y sus propiedades físicas	29
Cuadro 7 Desempeño acústico	33
Cuadro 8 Dimensiones de paneles según catálogo Tecsound	39
Cuadro 9 Categoría de impactos ambientales según método BEES	42
Cuadro 10 Materiales aislantes naturales	47
Cuadro 11 Descripción de las categorías de sostenibilidad	57
Cuadro 12 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 1 PRFV	59
Cuadro 13 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 2 PRFN Kenaf	60
Cuadro 14 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 3 PRFN Coco	61
Cuadro 15 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 4 PRFN Yute	62
Cuadro 16 Valoración de impactos	63
Cuadro 17 Resultados de análisis de impacto y aislamiento acústico	65

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1 Niveles de absorción acústica en un panel de poliéster	40
Grafica 2 Índice de reducción de ruido R_w (db), valores ponderados en cinco placas de PRFN	49
Grafica 3 Coeficiente de absorción en incidencia normal; comparación de valores medidos y valores predichos con diferentes modelos	51
Grafica 4 Coeficientes de absorción acústica derivados del Yute y otros	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Composición de las fibras de vidrio en porcentaje de peso	28
Tabla 2 Energía requerida durante el ciclo de vida de un PRFV (Pallet)	36
Tabla 3 Energía requerida durante el ciclo de vida de un PRFV (Pallet vs Panel)	38
Tabla 4 Resultados con metodología CML 92	43
Tabla 5 Impactos ambientales en PRFV (pallet y panel)	44
Tabla 6 Valores de NRC obtenidos a 1000 Hz de frecuencia de diferentes estudios	55

RESUMEN

En este documento se describió un material aislante utilizado para el control y disminución de niveles de ruido acústico, el cual está constituido por plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Además se realizó un análisis de impacto ambiental del material utilizando como análisis el ciclo de vida. A partir de esto, se seleccionó una resina plástica de poliéster teniendo en cuenta el espesor.

Posteriormente, se describieron tres materiales alternativos a la fibra de vidrio como reforzantes en resinas de poliéster llamados plásticos reforzados con fibra natural (PRFN) en función de su aislamiento acústico y sus características de fibra natural. Estos fueron el Kenaf, Coco y Yute, los cuales se evaluaron con el fin de obtener el material con mayor coeficiente de reducción acústica.

Finalmente se evaluaron los materiales mediante la metodología del estándar P5, en donde se categorizaron los impactos ambientales entre otros realizando un análisis comparativo y evaluando el material más óptimo.

Palabras clave: Ruido, aislamiento acústico, impacto, análisis, materiales aislantes, fibra de vidrio, fibra natural.

ABSTRACT

In this document the description of an insulating material used for the control and reduction of acoustic noise levels was developed, which is constituted by fiberglass reinforced plastic (GRP). In addition, an environmental impact analysis of the material was made using the life cycle as an analysis, from this, a polyester plastic resin was selected taking into account the thickness.

Subsequently, three alternative materials to fiberglass are described as reinforcers in polyester resins called natural fiber reinforced plastics (NFRP) based on their acoustic insulation and their natural fiber characteristics. These were Kenaf, Coco and Jute. Whichever is evaluated using a frequency level to obtain the material with the highest acoustic reduction coefficient.

Finally, the materials were evaluated using the P5 standard methodology, where the environmental impacts were categorized among others, making a comparative analysis and evaluating the most optimal material.

Key words: Noise, acoustic insulation, impact, analysis, insulating materials, glass fiber, natural fiber.

GLOSARIO

AISLAMIENTO ACUSTICO: Este término según el Convenio de Asociación No 124 de 2015¹, se define como la disminución en el nivel de presión sonora entre dos áreas, donde una posee una fuente de sonido o fuente sonora.

ANALISIS DE CICLO DE VIDA: El análisis por ciclo de vida de acuerdo con Joshi², es una técnica la cual evalúa los aspectos medio ambientales y los impactos potenciales, asociados a un producto.

MATERIALES AISLANTES ACUSTICOS: Según Carrascal³, Hace referencia a aquellos materiales los cuales impiden o disminuyen el paso de ondas sonoras entre dos áreas separadas continuas.

PRFN: Sigla para definir la categoría de plásticos reforzados con fibra natural.

PRFV: Sigla para definir la categoría de plásticos reforzados con fibra de vidrio.

RUIDO ACUSTICO: De acuerdo con la resolución 0627 de 2006 el ministerio de ambiente⁴ se refiere al ruido acústico como todo sonido desagradable o no deseado para un receptor.

¹ BIES, D y HANSEN, C Engineering Noise Control citado por CONVENIO DE ASOSIACION No. 124 DE 2015, Guía Técnica para aislamiento acústico y diseño y configuración de sistemas de refuerzo sonoro para establecimientos. [Cali.gov.co]. Cali. Sec.2. p. 5. 2015 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=9178>

² JOSHI, S, et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? En: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing [Elsevier] Vol. 35 Nro 3, p. 371 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X03002951>

³ CARRASCAL, T, et al. Guía de aplicación del DB HR protección frente al ruido. CTE código técnico de la edificación. Versión V-02. 2014. En Arquitectura Técnica [Google Académico] Madrid. ES. Sec Publicaciones. p.17. [consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/GUIA_DBHR_v02_septiembre_2014.pdf

⁴ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0627 (7, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2006. Anexo 1 Definiciones.

INTRODUCCIÓN

La emisión de ruido se cataloga actualmente como un impacto ambiental, debido a que genera contaminación y afectación a la salud humana cuando no se controla bajo los niveles de ruido permitidos. A nivel mundial existen normas para emisión y control de ruido, especialmente en las zonas consideradas más vulnerables como pueden ser zonas comerciales, zonas industriales, residenciales entre otras. En donde se observan los valores de niveles máximos permitidos siendo 80 dB el límite.

Sin embargo, existen zonas en las cuales los niveles de ruido sobrepasan los límites y deben ser controlados. A través de esto se han desarrollado materiales aislantes acústicos, los cuales además de tener una gran variedad de aplicaciones, logran reducir los niveles de ruido generados por el ambiente a niveles de ruido permisibles.

Estos materiales aislantes acústicos en su mayoría son materiales compuestos, lo cual les permite aumentar sus propiedades mecánicas y químicas, sin embargo. Estos materiales pueden ser una fuente contaminante a lo largo de todo su proceso de producción. En este proyecto se busca evaluar el impacto ambiental generado por uno de los materiales más utilizados en aislamiento acústico, el plástico reforzado con fibra de vidrio o también llamado (PRFV) mediante los estudios del análisis de ciclo de vida. Y así mismo compararlo con algunos de los materiales alternativos a base natural o bien llamados plásticos reforzados con fibra natural (PRFN), más estudiados actualmente, cuyo impacto ambiental es menor, los cuales puedan reemplazar su función como aislante acústico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los materiales naturales sustentables que sustituyan a la fibra de vidrio en los PRFV en función de su aislamiento acústico.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Describir los impactos ambientales de los PRFV en función de su aislamiento acústico con base en estudios de análisis de ciclo de vida.
- Identificar materiales sustitutos a la fibra de vidrio en los PRFV, de origen natural PRFN y cumplan con la función de aislamiento acústico.
- Comparar los PRFV con los PRFN y sus impactos ambientales en función de su aislamiento acústico.

1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL Y LEGAL

1.1 RUIDO ACUSTICO Y SU IMPACTO AMBIENTAL

El ruido acústico se define como “todo sonido no deseado por el receptor, en cuyo concepto están incluidas las características físicas del ruido y las psicofisiológicas del receptor, un subproducto indeseable de las actividades normales diarias de la sociedad”⁵. Es decir, el ruido acústico se asocia con las actividades humanas e involucra la emisión de sonido que generan, a partir de esto, cuando un receptor lo considera como no deseado se convierte en ruido. Según Carrascal⁶ las principales fuentes emisoras de ruido surgen a partir de las actividades comunes, como son vivienda, transporte e industria y los receptores todos aquellos que posean características psicofisiológicas calculables, como los seres vivos.

La emisión de ruido es considerada y catalogada desde una perspectiva ambiental como un impacto que debe ser controlado. “La emisión de ruido también es una forma de contaminación que ha tenido poco impacto en la sociedad colombiana si se compara con otro tipo de problemáticas de tipo ambiental”⁷.

En Colombia el MADS⁸ promulgó la Resolución 0627 del 2006, la cual estipula la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Donde, la emisión de ruido hace referencia a fuentes de emisión específica y el ruido ambiental hace referencia a sectores a nivel local, diagnóstico del ambiente en zonas locales. El cuadro 1 resume los estándares máximos permitidos para la emisión de ruido y niveles de ruido en decibelios ponderados dB(A) los cuales son la unidad de medida para emisión de ruido.

⁵ Resolución 0627:2006. Op. Cit. Anexo 1. Definiciones

⁶ CARRASCAL, T, et al. Op. Cit. p. 15

⁷ CASAS, Oscar; VARGAS, Carlos; ERAZO, Juan. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. En: Entramado [Google Académico]. Enero - Junio, vol. 11, nro. 1, 2015 p.266. [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106> tomado de ICONTEC 1994

⁸ Resolución 0627:2006. Op. Cit. Cáp.2 Art.7

Cuadro 1 Estándares máximos permisibles de ruido

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0627 (7, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2006. De la emisión del ruido. Cap.2. Tabla 1

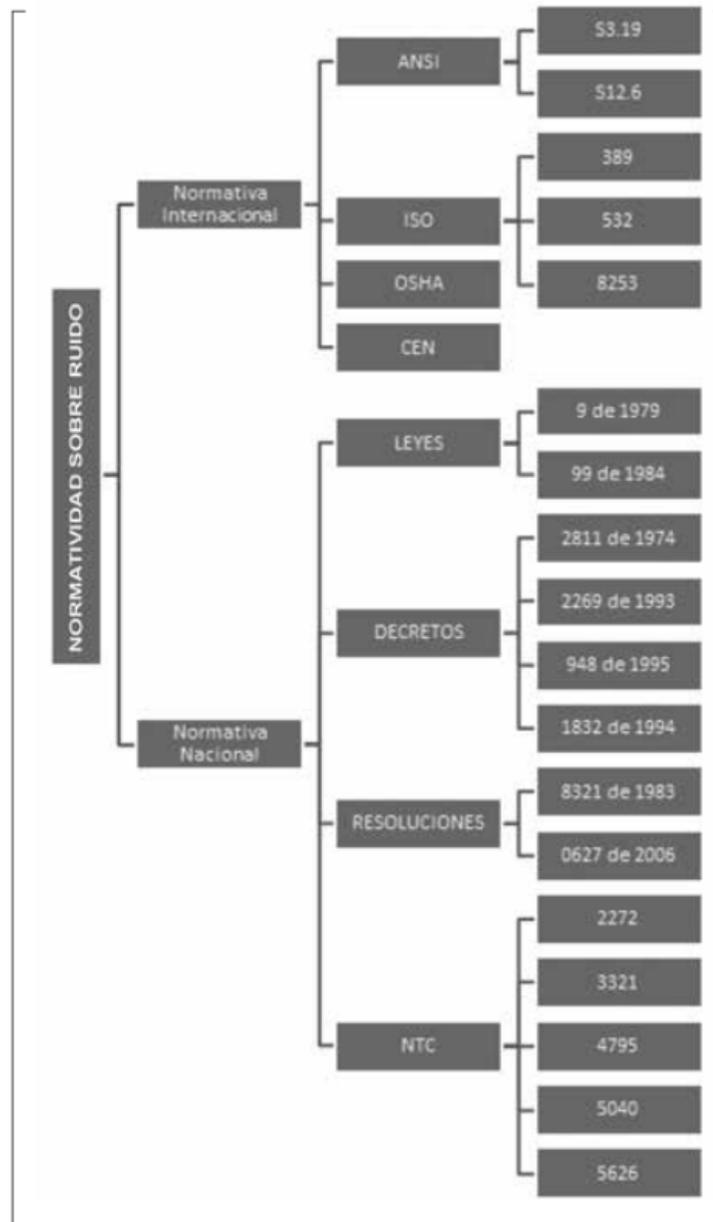
Como se observa en el cuadro 1, se diferencian los sectores donde el sector C posee los índices permisibles más altos allí se involucran las estructuras industriales y comerciales, se observan los límites permisibles de niveles de ruido donde por encima de estos límites pueden existir otro tipo de afectaciones.

A partir de esta normativa Casas⁹ menciona que se estipulan las medidas y fórmulas para realizar los cálculos por emisión de ruido y además existen códigos y normas que aportan claridad sobre los límites permisibles para el caso de estructuras y así

⁹ CASAS, Op. Cit. p. 264.

mismo las normas que se desarrollan a partir de la salud y salud en el trabajo dentro de las cuales se pueden encontrar las siguientes como se muestra en el cuadro 2:

Cuadro 2 Normatividad sobre ruido



Fuente: CASAS, Oscar; VARGAS, Carlos; ERAZO, Juan. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. En: Entramado [Google Académico]. Enero - Junio, vol. 11, nro. 1, 2015 p.266. [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106> tomado de ICONTEC 1994

En cuanto a los casos de contaminación por ruido, estudios realizados demuestran que el ruido genera ciertos impactos a la salud. En este sentido, la OMS¹⁰ (organización mundial de la salud) ha desarrollado estudios en donde se mencionan efectos sobre la salud a causa del ruido acústico como el, Night Noise Guidelines for Europe muestra una serie de casos en los cuales el ruido afecta o interrumpe el sueño de tal forma que genera afectaciones en la salud. En el cuadro 3, muestra algunos de los efectos generados a partir de un límite de ruido permisible.

Cuadro 3 Efectos sobre la salud causadas por el ruido

Entorno	Nivel de sonido dB(A)	Tiempo (h)	Efecto sobre la salud
Exterior de viviendas	50 - 55	16	Molestia
Interior de viviendas	35	16	Interferencia con la comunicación
Dormitorios	30	8	Interrupción del sueño
Aulas escolares	35	Duración de la clase	Perturbación de la comunicación
Áreas industriales, comerciales y de tráfico	70	24	Deterioro auditivo
Música en auriculares	85	1	Deterioro auditivo
Actividades de ocio	100	4	Deterioro auditivo

Fuente Organización Mundial de la Salud (20)

Fuente: WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental noise Guidelines for Europe citado por OSMAN (observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía Ruido y salud. El riesgo. Evidencia científica de daño a la salud. p. 17. Disponible en: https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824

Así mismo, en el cuadro 3, es posible observar los entornos o fuentes emisoras de ruido, las áreas comerciales industriales y de tráfico a partir de los 70 dB generan deterioro auditivo, dependiendo del tiempo en el entorno. Así mismo, si se compara con la norma en Colombia es posible observar que el límite establecido puede estar generando una afectación en la salud ya que la norma establece 70 dB como base para el sector industrial y a partir de este límite existe afectación a la salud. Frente a esta problemática se han desarrollado medidas de manejo basadas en el concepto de aislamiento acústico mediante las cuales es posible minimizar o mantener el ruido de forma controlada.

¹⁰ WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental noise Guidelines for Europe. Executive summary.2018 [En Línea] p. 3-4 [Consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF Disponible en http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/383922/noise-guidelines-exec-sum-eng.pdf

1.2 AISLAMIENTO ACUSTICO

El aislamiento acústico como termino derivado del control acústico se puede describir a partir de la siguiente afirmación "(...) es definido como la reducción en el nivel de presión sonora entre dos cuartos contiguos, donde uno de los dos posee una fuente sonora"¹¹. En su mayoría el aislamiento acústico hace referencia a recintos específicos ya catalogados y tiene que ver principalmente con estructuras.

Según Carrascal¹² cuando se habla de aislamiento acústico en estructuras se mencionan dos factores de ruido: aéreo y de impacto. A continuación se expondrán:

- El ruido aéreo está clasificado a partir de fuentes externas y se transmite por vía directa o a través de parámetro. En este caso las ondas de sonido incidentes hacen vibrar el elemento constructivo que transmite su deformación al aire del espacio adyacente.
- El ruido de impacto se genera por impacto directo a la estructura (todos los generadores de vibraciones como pisadas, maquinaria, etc.). Ambos tipos de ruido pueden ser propagadas por transmisiones de vía directa como se mencionó para el ruido aéreo o transmisiones laterales donde todas las superficies adyacentes se convierten en fuentes de ruido.

1.3 MEDIDAS DE MANEJO: SISTEMAS Y MATERIALES AISLANTES

Las medidas de manejo que se tienen para estos tipos de ruido varían desde sistemas de insonorización (la insonorización supone aislamiento acústico de un recinto) y materiales cuya absorción acústica (reducción de ruido a través de ciertas propiedades). Para cada tipo de ruido Carrascal¹³ menciona los sistemas y aislamientos frente a estos ruidos. Para la reducción del ruido aéreo se plantean tres tipos de sistemas o aislantes:

a) Paredes simples donde se tiene en cuenta solo el material de construcción base y el ruido se aísla a partir de la masa del mismo.

b) Paredes dobles consta de dos paredes simples separadas con el fin de aumentar el aislamiento acústico donde se incorpora un tejido de material extra entre cada pared con capacidades absorbentes al ruido como la lana mineral.

¹¹ CONVENIO DE ASOSIACION, Op. Cit. p.5

¹² CARRASCAL, et. al, Op. Cit. p. 25-27

¹³ Ibid., p. 46-49

c) Paredes de yeso laminar puede constar de una placa simple o compuesta donde se pueden añadir materiales aislantes extra, se considera uno de los sistemas más utilizados para aislamiento acústico debido a su peso y su capacidad aislante.

Según Carrascal¹⁴, la reducción de ruido por impacto se reduce en su mayoría por materiales compuestos, como se mencionó anteriormente, estos ruidos se relacionan con generadores de vibraciones. Usualmente la reducción de ruido para este tipo de emisiones se da a partir de materiales absorbentes al ruido dentro de los cuales van a existir polietilenos expandidos, poliestirenos expandidos, cauchos, espumas, gomas aglomeradas, plásticos reforzados con minerales de roca, plásticos reforzados con fibras de vidrio o fibras naturales, entre otros.

1.3.1 Materiales aislantes acústicos. Una de las características de los materiales aislantes acústicos es su coeficiente de absorción o NRC (Noise Reduction Coeficient) el cual hace referencia a la siguiente definición; “Cada material tiene un grado de absorción de sonido que define la relación entre la energía sonora absorbida y la reflejada, es decir cuánto ruido puede absorber dicho material. Este valor puede variar entre 0 y 1, si es 0 el material es totalmente reflejante, si es 1 se trata de un material completamente absorbente. Si este valor es multiplicado por 100, proveerá el porcentaje de sonido absorbido”¹⁵. Es decir, el NRC se considera como un factor de medida para determinar el grado de absorción sonora de un material, cuando es próximo a 1 o mayor se considera como un material absorbente o aislante en términos acústicos.

En base a lo anterior Durlock¹⁶ menciona que los niveles de absorción acústica pueden llegar a disminuir los niveles de ruido de 3 a 10 dB cuando se tiene un material aislante con un NRC cercano o superior a 1. Los materiales considerados como aislantes acústicos poseen una característica muy importante que es la porosidad, espacios de aire generados entre las capas de material esto se debe a que “al incidir el sonido dentro de estos poros la energía acústica es convertida en energía calórica. Hay una fracción de la energía sonora que es reflejada, mientras que la que se convierte en calor es absorbida”¹⁷. Los poros permiten una absorción

¹⁴ *Ibíd.*, p.115-116

¹⁵ DURLOCK. Soluciones Durlock® Informes técnicos Marzo. En Durlock [Durlock.com]. p.1-2 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en : <http://durlock.com.ar/uploads/descargas/c01f4087c45fc5c9325e13a508fff510f1a0c803.pdf>

¹⁶ *Ibíd.*, p. 2

¹⁷ DOELLE. L y ARCH, M. Environmental Acoustics citado por CONVENIO DE ASOSIACION Op.Cit. p.6

de ruido mayor a una reflexión de ruido. Entre mayor es la porosidad del material mayor es la absorción acústica.

Según Maderuelo ¹⁸ dentro de esta categoría de materiales absorbentes acústicos se encuentran los materiales fibrosos (minerales y vegetales) los cuales se trabajaron en el capítulo 3, materiales con estructura celular (mineral y vegetal), espumas plásticas aislantes los cuales poseen estas características mencionadas.

A partir de estas descripciones relativas a la absorción acústica el siguiente cuadro 4 muestra algunas características referentes a cada material y su coeficiente de absorción acústico o noise reduction coefficient (NRC).

Cuadro 4 Coeficiente de absorción de algunos materiales aislantes

Tipo de material	Materiales	Descripción	Rango de espesores cm	Coeficiente de absorción NRC
Materiales fibrosos	PFRV	Se caracterizan por ser los productos más eficientes , debido a las propiedades mecánicas, químicas eléctricas y acústicas, se componen de resinas plásticas con refuerzos de fibra de vidrio	1,27 - 5,08	0,85-1,05
	Lana de roca	Se aventajan por ser químicamente neutras, suelen ser incombustibles.	2,5-5	0,2-1
	Fibra de madera	Se conocen como placa landa, se impregnan químicamente con cemento y son muy usadas en la construcción	4	0,68
	Hormigón (fibragloss)	Son tableros de fibra de madera, son aglomerados con cemento son empleados para aislamiento de suelos y muros	1,5-10	0,55-0,75

¹⁸ MADERUELO, R. Investigaciones sobre la aplicabilidad en edificación de materiales acústicos procedentes de la valorización de residuos. Tesis doctoral. [Repositorio digital] Universidad Extremadura España. Facultad de física Aplicada. p. 1-247, 2014 [Consultado 14, Octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://dehesa.unex.es/handle/10662/2283>

Cuadro 4 (Continuación)

Materiales con estructura celular	Yeso	De amplia difusión, los tableros prefabricados de yeso reúnen las condiciones técnicas y decorativas para su aplicabilidad; están básicamente formados por yeso de escayona, lana mineral y papel metalizado es un material altamente aislante considerado en la construcción	9,5-12,7	0,7-0,85
	Corcho	Los aglomerados del corcho se emplean para el aislamiento del calor, frío y sonido. Su campo de aplicación es muy vasto adaptándose a la construcción de viviendas.	25-33	0,77
	Vidrio celular	Es un vidrio que contiene gran cantidad de celdillas microscópicas repletas de gas, las cuales se obtiene inyectando a presión mediante procedimientos especiales	2-4	0,12
Espumas plasticas	poliestireno expandido	Consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas, generalmente pentano que forma burbujas que reducen la densidad del material. Su aplicación principal es como aislante en construcción y para el embalaje de productos frágiles, muy ligero.	2-5	0,5-0,75
	Espuma de poliuretano	El poliuretano puede ser de celda cerrada cuando se expande con freón o abierta cuando es hinchada con CO ₂ , son altamente utilizados por sus capacidades como aislantes acústicos debido a la porosidad del material	3-7	0,25-1

Fuente: Autor basado en: ROUGERON, C. Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Cap. 4.p. 22-26, MADERUELO, R. Investigaciones sobre la aplicabilidad en edificación de materiales acústicos procedentes de la valorización de residuos. Tesis doctoral. En Dehesa [Google académico] p.13-14 2014. [Consultado 14, Octubre, 2019]. Disponible en <http://dehesa.unex.es/handle/10662/2283>, Bunker audio. Portal del sonido: Coeficientes de absorción acústica de materiales. Ciudad de México. RONALD, H.2019. [Consultado: 14, Octubre, 2019] Disponible en <https://www.bunker-audio.com/bunker-audio-portal-sonido-documentos.php?id=3>

Se debe aclarar que los valores del NRC que se observan en el cuadro 4 están dados a partir de los espesores allí mostrados. Sin embargo, es posible observar en catálogos de materiales aislantes acústicos que los espesores pueden variar dependiendo la aplicación, por lo cual algunos coeficientes pueden aumentar o disminuir.

Los materiales con mayores capacidades acústicas, varían dependiendo el espesor, algunas veces se tienen en cuenta tablas basadas en una banda de frecuencias, donde los valores de banda van desde 100 a 8000 hz (Hertz) y el valor del NRC puede ser ponderado o promediado.

En el cuadro 4 se observan algunos de los materiales más utilizados como aislantes acústicos. Las propiedades de cada material corresponden a la materia prima y a los tipos de procesos por los cuales son fabricados, cabe resaltar que de estos materiales se producen diferentes tipos de elementos dependiendo los requerimientos de uso, las espumas, y materiales fibrosos son algunos de los más demandables en la industria. A continuación, se comprenderán principalmente los PRFV que son la base de estudio.

1.4 PLASTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)

Según Sathishkumar¹⁹, un material compuesto tiende a tener unas propiedades mecánicas superiores a las de sus componentes por separado. Sanjay²⁰ también menciona la existencia de materiales compuestos que constan de una matriz y un reforzante estas matrices pueden ser de metal, cerámica o plástico y su reforzante puede ser mineral, sintético o natural.

Según Sanjay²¹ Dentro de la categoría de materiales compuestos se encuentran los plásticos reforzados con fibra de vidrio PRFV, se caracterizan por ser un compuesto de materiales que aportan ciertas características al producto final, dependiendo de la composición de la fibra y la resina plástica.

¹⁹ ARAMIDE, F, ATANDA, P. y OLORUNNINO, O. Mechanical properties of a polyester fiber glass composite citado por SATISHKUMAR, T., Satheeshkumar, S., & Naveen, J. Glass fiber-reinforced polymer composites compuestos de polímeros reforzados con fibra de vidrio – En: Journal of Reinforced Plastics and Composites [SagePub] Vol.33, nro.13, p. 1260. 2014. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684414530790>

²⁰ SANJAY, M. y YOGESHA, B. Studies on Natural/Glass Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites: An Evolution. En: Materials Today: Proceedings [ScienceDirect] Vol. 4 No 2 p. 2739-2740 [Consultado 14, Octubre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317303516>

²¹ *Ibíd.*, p. 2740-2741.

Gnatowski²² menciona que los PRFV se componen de una matriz polimérica acompañada de fibras de vidrio, reforzadas adicionalmente con aglutinantes y catalizadores los cuales permiten conformar el material dependiendo la aplicación.

Las características de estos compuestos se determinan a partir de ciertos criterios, según Gnatowski²³ los principales son la composición y el tamaño de las partículas, además de la pureza y la consistencia de las materias primas. Dependerán entonces del tipo de vidrio, la cantidad de fibras y los tipos de resinas.

1.4.1 Resinas plásticas utilizadas en los PRFV. Las matrices poliméricas o también llamadas resinas plásticas dependerán del tipo de plástico utilizado. Dentro de la clasificación de los plásticos se encuentran los termoestables y los termoplásticos. Los termoestables se definen como "(...) aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores" por el contrario los termoplásticos "(...) son fácilmente conformables al aplicárseles temperatura y presión (...)"²⁴. Algunos termoplásticos y termoestables son la base polimérica para la producción de PRFV, sin embargo los más utilizados son los termoplásticos.

Dentro de los tipos de resina utilizadas para conformar los PRFV Cheremisinoff²⁵ menciona las siguientes: Resinas epóxicas, resinas de melanina, resinas fenólicas, Poliésteres, poliestirenos, vinil ester, poliésteres isoftálicos, furanos, policarbonatos, resinas de silicona. El autor menciona que, el uso de una resina específica determinará cuales de las propiedades son más fuertes y el rango de condiciones sobre las cuales el producto final puede ser utilizado.

²² GNATOWSKI, A., Kijo-Kleczkowska, A., Gołębski, R. y Mirek, K. Analysis of polymeric materials properties changes after addition of reinforcing fibers. En: International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow [Emerald Insight], Vol. 10 Nro. 44 p. 1369. 2019. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2126/insight/content/doi/10.1108/HFF-02-2019-0107/full/html>

²³ *Ibíd.*, p.1369-1370

²⁴ MYSHKIN, N. y KOVALEV, A. Polymer mechanics and tribology. En: Industrial Lubrication and Tribology [Emerald Insight] Vol. 70 No. 4, p. 772-773. 2018. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf [Consultado 14, Octubre, 2019] Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/publication/issn/0036-8792>

²⁵ CHEREMISINOFF, N.P. Fiberglass Reinforced Plastics - Fiberglass Arrangement and Forms. En: William Andrew Publishing/Noyes. [Knovel] Fiberglass Reinforced Plastics. Cap. 2 p.134 [Consultado en 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt002R9SU3/fiberglass-reinforced/fiberglass-arrangement>

Algunas de las propiedades de las resinas mencionadas se pueden ver en el cuadro 5:

Cuadro 5 Propiedades de las resinas utilizadas en los PRFV

Propiedad	Epóxicas	Fenólicas	Poliésteres	Melaminas	Siliconas
Gravedad específica	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3
Colorabilidad	B-E	P	B+	B+	B
Propiedades Mecánicas	MB-E	MB	MB	MB	Su-B
Propiedades Eléctricas	E+	B	E	E	E
Resistencia termica	Su	E	G	E	E
Resistencia al agua	E	MB	MB	Su	B+
Flamabilidad	CL	AE	CL	AE	N
Presión de moldeo	BJ-M	BJ-A	BJ-M	BJ-M	BJ-A
Formación de subproductos	N	S	N	S	S
A= Alta; AE= Auto-extinguible; B = Buena; BJ=Baja; CL= Combustión lenta; E= Excelente; M= Media; MB= Muy buena ; N= Ninguna ; P= Pobre; S= Si ; Su= Suficiente; += Mayormente					

Fuente: CHEREMISINOFF, N.P. Fiberglass Reinforced Plastics - Fiberglass Arrangement and Forms. En: William Andrew Publishing/Noyes. [Knovel] Fiberglass Reinforced Plastics. Cap. 2 p.134 [Consultado en 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt002R9SU3/fiberglass-reinforced/fiberglass-arrangement>

Según lo anterior, la presión de moldeo, flamabilidad y formación de subproductos son propiedades altamente requeridas en la industria de los PRFV, mientras que las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas aportan ciertas características que son reforzadas con las características de las fibras de vidrio. Las resinas cuya presión de moldeo es baja son las más utilizadas en la producción de PRFV debido a que producen menores costos de producción, como se observan las resinas epóxicas, poliésteres y melaminas cumplen con este criterio, sin embargo, en el cuadro 5 se muestran algunas de las resinas más representativas utilizadas para la formación de PRFV. Rodríguez²⁶ menciona que otros de los materiales que componen a los PRFV son los acelerantes y catalizadores la función de estos es reforzar y/o permitir el proceso de gelificación o coagulación de la resina plástica

²⁶ RODRIGUEZ, Jerly. Análisis del sistema catalítico de la resina de poliéster insaturado para laminación. Trabajo de grado [Repositorio digital] Ingeniera Química. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química de p.1-86. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1980>

junto con las fibras de vidrio. Según Yanar²⁷ Los catalizadores más utilizados en resinas de los PRFV varían dependiendo de la aplicación. En el caso de las resinas de poliéster los catalizadores más utilizados suelen ser los peróxidos orgánicos, en cuanto a los acelerantes Los más importantes de todos los compuestos acelerantes son los basados en una sal de cobalto u otras sales.

1.4.2 Las fibras de vidrio en los PRFV, clasificación y sus procesos de producción. Las fibras de vidrio se componen según Krueger²⁸ de materiales como: fuentes de Sílice, Minerales de boro, oxido de álcali, alúmina, óxido de Zinc, oxido de Boro, fluorita, Sulfato de sodio, vidrio reciclado y minerales sintéticos, los cuales son la matriz base del vidrio. Las fibras de vidrio se clasifican de acuerdo con el tipo de vidrio o composición del vidrio, y sus características físicas como se muestran en la tabla 1 y el cuadro 6.

Tabla 1 Composición de las fibras de vidrio en porcentaje de peso

Type	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)	TiO ₂	B ₂ O ₃	(CaO)	(MgO)	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
E-glass	55.0	14.0	0.2	7.0	22.0	1.0	0.5	0.3	–
C-glass	64.6	4.1	–	5.0	13.4	3.3	9.6	0.5	–
S-glass	65.0	25.0	–	–	–	10.0	–	–	–
A-glass	67.5	3.5	–	1.5	6.5	4.5	13.5	3.0	–
D-glass	74.0	–	–	22.5	–	–	1.5	2.0	–
R-glass	60.0	24.0	–	–	9.0	6.0	0.5	0.1	–
EGR-glass	61.0	13.0	–	–	22.0	3.0	–	0.5	–
Basalt	52.0	17.2	1.0	–	8.6	5.2	5.0	1.0	5.0

Fuente: SATISHKUMAR, T., Satheeshkumar, S., & Naveen, J. Glass fiber-reinforced polymer composites compuestos de polímeros reforzados con fibra de vidrio – En: Journal of Reinforced Plastics and Composites [SagePub] Vol.33, nro.13, p. 1260. 2014. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684414530790>

A partir de la tabla 1, según Satishkumar²⁹ permite reconocer la composición de los diferentes tipos de fibras de vidrio como se observa. Las fibras de vidrio tipo E poseen mayor cantidad de componentes por lo cual lo hace el tipo de vidrio más

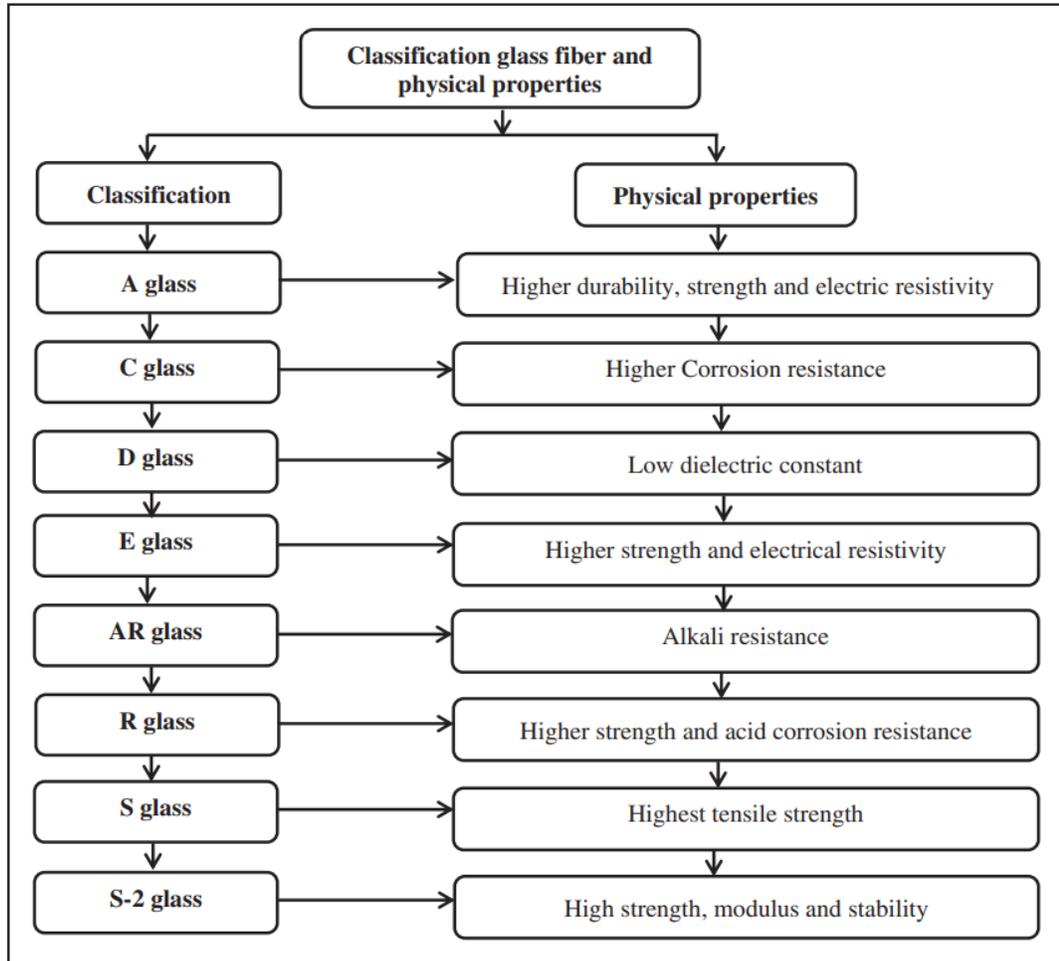
²⁷ YANAR, H., AYAR, H., Demirtas, M. y PURCEK, G. Effect of resin content on tribological behavior of brake pad composite material. En: Industrial Lubrication and Tribology [Emerald Insight] p. 4 Sunderland University. 2018 [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ILT-05-2018-0171/full/html>

²⁸ KRUEGER, K., STOKER, A. y GAUSTAD, G. “Alternative” materials in the green building and construction sector: Examples, barriers, and environmental analysis. En: Smart and Sustainable Built Environment [Emerald Insight] Vol. 8 No. 4, p. 270-271. 2018. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SASBE-09-2018-0045/full/html>

²⁹ *Ibíd.*, 1261.

demandable en la industria de los PRFV seguido del tipo A , S, D Y C. Sathishkumar³⁰ muestra la clasificación de los vidrios más utilizados como compuestos de fibra de vidrio dentro de los cuales el vidrio tipo E es altamente demandado debido a su capacidad de resistir altos esfuerzos y alta resistencia eléctrica, menciona también su capacidad como aislante acústico, así mismo el cuadro 6 muestra la clasificación y aplicación de los tipos de fibra de vidrio.

Cuadro 6 Clasificación de las fibras de vidrio y sus propiedades físicas



Fuente: SATISHKUMAR, T., Satheshkumar, S., & Naveen, J. Glass fiber-reinforced polymer composites compuestos de polímeros reforzados con fibra de vidrio – En: Journal of Reinforced Plastics and Composites [SagePub] Vol.33, nro.13, p. 1260. 2014. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684414530790>

³⁰ SATHISHKUMAR, T, Op. Cit. p. 1260-1261

Las fibras de vidrio se obtienen de un proceso en el cual el vidrio es sometido a altas temperaturas y luego moldeado con el fin de obtener fibras o filamentos de vidrio continuos o discontinuos.

Para el caso de los PRFV las fibras continuas son las más utilizadas. “Casi todas las fibras de vidrio continuas son fabricadas por la atenuación de fundido, gotas de vidrio que salen de las boquillas ubicadas en la base de un horno especial de trefilado de fibra llamado un buje”³¹. Por otra parte, Kogel³² menciona algunas de las tecnologías de fibrización más conocidas, las cuales son: Fibrización por rotación o rotativa, Atenuación por flama o llama y Proceso continuo (es el mismo proceso de atenuación de fundido mencionado). A continuación, se describen las más utilizadas.

1.4.2.1 Fibrización rotativa. Este proceso utiliza un disco de metal con varias filas de agujeros perforados alrededor de la circunferencia del disco. El vidrio caliente ingresa al disco giratorio y la fuerza centrífuga hace que el vidrio líquido caliente salga de los agujeros en forma de fibras finas y discontinuas requeridas para los productos de aislamiento. Luego, se aplican aglutinantes líquidos y las fibras se recogen en una caja de vacío.

1.4.2.2 Atenuación por flama. En este proceso se tienen pellets de vidrio los cuales se funden en macetas cilíndricas. El fondo contiene anillos concéntricos de agujeros de los cuales se extrae una fibra de vidrio primaria, de aproximadamente 1 mm de diámetro. La atenuación secundaria sucede cuando las fibras primarias se colocan cuidadosamente frente a un quemador de alta temperatura y velocidad. La llama rompe los filamentos en fibras largas con una distribución de diámetro estrecho.

Las fibras de vidrio se pueden presentar en tres tipos de configuraciones en cuanto al tejido final de las fibras de vidrio luego de los procesos. Bielawski³³, menciona las fibras continuas (con onda unidireccional), fibras discretas o seccionadas y fibras de

³¹ LOEWENSTEIN, K.L. The Manufacturing Technology of Continuous Glass. En: [Google Académico] Fibres. Platinum metals rev.1975, 19, 3ed. p. 82-83. 2010 [consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com> › pol.1974.130120209

³² KOGEL, Jessica Elzea TRIVEDI, Nikhil C. BARKER, James M. KRUKOWSKI, Stanley T. En [Knovel]. Industrial Minerals and Rocks - Commodities, Markets, and Uses (7th Edition). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). Cap 7 p. 81, 2006 [consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMRCMUE1/industrial-minerals-rocks/industrial-minerals-rocks/industrial-minerals-rocks>.

³³ BIELAWSKI, R. et al. Investigation of Riveted Joints of Fiberglass Composite Materials. Investigación de juntas de materiales compuestos de fibra de vidrio. En: Mechanics of Composite Materials [SpringerLink] Vol 52 No 2 p.200-201. 2016 [consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11029-016-9573-4#citeas>

tela tejida usadas para estructuras laminadas, dependiendo su configuración pueden aumentar la porosidad del producto final. Bendezú³⁴ por otra parte clasifica estas configuraciones según la industria, se pueden encontrar con los nombres de Mantas de fibra de vidrio MAT, filamentos de fibra de vidrio Roving, velos, cintas de vidrio. Usualmente estas configuraciones se conocen mayormente por su nombre industrial y se encuentran en formas de paneles para su aplicación como absorbente acústico.

1.5 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LOS PRFV

Según Cheremisinoff³⁵, los procesos de PRFV se realizan a partir de moldeo, se encuentran varios tipos: Moldeo por contacto (contact molding), moldeo por bolsas de vacío (vacuum bag molding), bolsa de presión (pressure bag), moldeo por émbolo flexible (flexible plunger molding), inyección por vacío (vacuum injection), tinte combinado (matched dye), moldeo por compresión (compression molding), transferencia (transfer) y moldeo por inyección (injection molding).

Algunos de los procesos no son muy utilizados debido a las características del proceso o sus costos elevados, sin embargo, dentro de los más utilizados para altas producciones se encuentran procesos como el de tinte combinado, inyección por vacío, moldeo por transferencia, compresión o inyección.

1.5.1 Tinte combinado. Este proceso emplea dos moldes de metal con una tolerancia mínima entre ellos. Se calientan los moldes por vapor o eléctricamente. Los moldes se acercan entre sí a tal punto en el que unen la resina plástica con las fibras de vidrio.

1.5.2 Inyección por vacío. Es similar al anterior, sin embargo la resina se vacía en el fondo y el laminado es a partir de vacío, donde se añaden las fibras de vidrio, usualmente el contenido de fibras de vidrio es relativamente poco, y una ventaja de este proceso es que elimina muchas de las burbujas creadas en el proceso.

1.5.3 Moldeo por compresión. El moldeo por compresión y el moldeo por transferencia son similares, constan de dos moldes donde a partir de presión y teniendo el material en el medio se obliga al material a tomar la forma de la cavidad donde se encuentre, la diferencia es que el moldeo por transferencia posee un

³⁴ BENDEZÚ, J. H. Los Plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRVF), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional Tesis en En repositorio [Google académico]. Universidad mayor de San Marcos. Lima. Perú. p. 25, 2002. [consultado 2, Octubre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en : http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/Bendezu_R_J/T_completo.pdf

³⁵ CHEREMISINOFF, N.P, Op.Cit. p. 135

embolo extra que obliga al material a entrar en la cavidad y previamente los moldes ya pueden estar sometidos a presión.

1.5.4 Moldeo por inyección. Funciona de la misma forma que el moldeo por inyección para la fabricación de plástico común, donde el material previamente fundido es inyectado en un molde y se extrae cuando se solidifica luego del curado, tomando esta la forma del molde, se incluyen entonces las resinas en menor tamaño de fibras de vidrio y el material reforzante.

1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PRFV

Algunas ventajas que poseen los PRFV tienen que ver en su mayoría con las propiedades mecánicas que brindan. Lee³⁶ menciona algunas de estas con base a su composición, como son: composiciones livianas, anticorrosivas, alta resistencia y rigidez específica, procesos de fabricación rentables y son fácil adaptabilidad dependiendo de los requerimientos.

Los PRFV son utilizados por sus propiedades mecánicas y térmicas elevadas así mismo por sus propiedades aislantes eléctricas y acústicas, debido a esto son materiales altamente demandados. Una de las características de los PRFV es la posibilidad de producción en diferentes formas o sub-productos³⁷.

Dentro de las ventajas acústicas y en función de aislamiento acústico, los PRFV se fabrican con ciertas características. Dependiendo de la capacidad y del grosor del producto la insonorización se hace mayor, un ejemplo encontrado en catálogo de muestra en el (cuadro 7), uno de los productos utilizados para aislamiento acústico, en este caso una placa de fibra de vidrio negra donde sus propiedades NRC (coeficiente de absorción acústica) se dan por frecuencia de bandas de octava medidas en Hertz.

Cuadro 7 Desempeño acústico

³⁶ LEE L.S. y JAIN. R The role of FRP composites in a sustainable world. En: Clean Technologies and Environmental [SpringerLink] Vol 11, No 3, p. 247. 2009 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-009-0253-0>

³⁷ *Ibíd.*, p.248-249

Tipo de producto y grosor	Densidad		Frecuencias de banda de octava (Hz)							Resistencia térmica (Valor R) (hr+ft ² *°F)/BTU
	Pcf /Kg/m ³)	Ensamble	125	250	500	1000	2000	4000	NRC	
1"	3 (48)	A	0.05	0.22	0.65	0.94	1.03	1.02	0.7	4.3
2"	3 (48)	A	0.13	0.75	1.17	1.14	1.05	1.09	1.05	8.6

Datos de la prueba realizada de acuerdo al método ASTM C423, ensamble Tipo A (el material fue colocado contra una base sólida, como un bloque de pared).

Fuente: VAREL ACOUSTIC. Catálogo de productos. En [Varelacustics]. Tercera edición. Naucalpan de Juárez. Estado de México .Varel acoustic. S.A. p, 1-83. 2016. [Consultado 20, Septiembre,2019] Disponible en: <http://varelacoustic.com/assets/catvarelacousticv3.pdf>

Así mismo, se encuentran diferentes tipos de productos con capacidades mayores o menores a las fibras de vidrio. Pero estas dependerán de las composiciones de dichos materiales.

Por otra parte, según Cheremisinoff³⁸ dentro de las ventajas de los PRFV también se pueden encontrar el uso de este material compuesto en diferentes rangos de temperatura, su capacidad auto-lubricante, transparencia, buenas propiedades eléctricas y térmicas, y la multiplicidad de usos.

Sin embargo, las desventajas como también menciona el autor son: baja resistencia y rigidez frente a materiales como madera, cerámicos o metales; su inflamabilidad es mayor que la de los metales y los cerámicos; a altas temperaturas se ablandan, sufren descomposición y oxidación; gran parte de estos compuestos poseen una baja resistencia a los químicos orgánicos, y dependiendo del tipo de matriz pueden poseer menor resistencia al impacto.

Algunos estudios se han elaborado con el fin de evaluar el impacto a la salud humana cuando se trabaja con plásticos reforzados con fibra de vidrio de forma continua "Albumin and hemoglobin adducts as biomarkers of exposure to styrene in fiberglass-reinforced-plastic workers" [Aductos de albúmina y hemoglobina como biomarcadores de exposición al estireno en trabajadores de plástico reforzado con fibra de vidrio]³⁹ es un estudio donde se evalúa la composición de los PRFV específicamente con resina de estireno en la sangre, aunque en su mayoría mencionan que solo en caso de contacto permanente en la fabricación del material

³⁸ CHEREMISINOFF Op. Cit. p.137

³⁹ FUSTINONI, C, et. al. Albumin and hemoglobin adducts as biomarkers of exposure to styrene in fiberglass-reinforced-plastic workers. En: International Archives of Occupational & Environmental Health [LinkSpringer]. Vol 71 p. 35 – 36. [Consultado 20, Septiembre,2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004200050247>

pueden generarse ciertos síntomas en los pulmones debido a las partículas liberadas del material. Sin embargo, hasta el momento no se considera que produzca un daño a la salud.

Una de las causas principales por las cuales se presentan nuevos estudios relacionados con los PRFV es su impacto ambiental. Dentro de algunas de los impactos más conocidos es la descomposición de materiales en el uso final; el tiempo de descomposición del vidrio se conoce como uno de los más lentos, así como el de algunos tipos de polímeros.

Por otra parte, según Dahy⁴⁰ las fibras de vidrio hacen parte de los recursos naturales no renovables, mencionan también que la composición de los PRFV genera un gran consumo energético a lo largo de todo el proceso.

⁴⁰ DAHY, H. Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites (NFRP) Fabricated from Lignocellulosic Fibres for Future Sustainable Architectural Applications, Case Studies: Segmented-Shell Construction, Acoustic Panels, and Furniture. En Sensors [Ebsco Host] Vol 19, p. 738. 2019 [Consultado 20, Septiembre,2019] Artículo en pdf. Disponible en: [_http://web.b.ebscohost .com /ehost/detail?vid=11&sid=90f83d59-9a9c-4b3c-a9ba31d772509598%40pdc-v-sessmgr01&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=134843684&db=a9h](http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail?vid=11&sid=90f83d59-9a9c-4b3c-a9ba31d772509598%40pdc-v-sessmgr01&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=134843684&db=a9h)

2. ANALISIS CICLO DE VIDA DE LOS PRFV EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO CON BASE A ESTUDIOS REALIZADOS

El análisis por ciclo de vida según Joshi⁴¹, es una técnica para evaluar los aspectos medio ambientales y los impactos potenciales, asociados a un producto. Se determina a partir de ciertos criterios:

- Compilar un inventario de las entradas y salidas más relevantes en el sistema del producto.
- Evaluar los impactos potenciales medio ambientales asociados con las entradas y salidas previamente estudiadas.
- Interpretar los resultados del análisis de inventario y las fases de evaluación de los impactos en relación con los objetivos de estudio.

Para Joshi⁴² el ACV (análisis de ciclo de vida) estudia los aspectos medio ambientales y los impactos potenciales de un producto desde la adquisición de la materia prima, la producción, uso y hasta el fin de vida del producto donde puede ser dispuesto de diferentes formas ya sea reciclaje, incineración u otro tipo de disposición final.

La ISO⁴³ 14001 habla de sistemas de gestión ambiental y los requisitos para orientación, en esta norma se define el concepto de ciclo de vida de un producto donde se describe como: Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto (o servicio), desde la adquisición de la materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final. Así mismo, Massolo⁴⁴ menciona las normas establecidas para determinar el análisis de ciclo de vida son la ISO 14040 y la ISO 14044 donde se describen las metodologías de análisis de ciclo de vida, requerimientos y guía para aplicarlo. Sin embargo, existen otras normas que surgen dependiendo el criterio con el cual se analiza un proceso ya sea

⁴¹ JOSHI, S, et al. Op. Cit. p. 371

⁴² *Ibíd.*, p. 372

⁴³ ISO .Organización internacional de estandarización, ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. En ISO p. 4 2015 [iso.org].Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>

⁴⁴ MASSOLO, L. Introducción a las herramientas de gestión ambiental. Universidad de la Plata. En Repositorio en línea [Google Académico] Libros de Cátedra. Cap. 4 p.76-77, 2015 [consultado 14, Noviembre, 2019] En PDF Disponible en : http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46750/Documento_completo__.pdf?sequence=1

de producto o servicio a partir de la ISO 14000. Leiva⁴⁵ sugiere a partir de esto determinar objetivos del ACV previamente a iniciar el inventario de entradas y salidas.

Uno de los objetivos de esta monografía es mostrar estudios referentes a los ACV realizados en los PRFV teniendo en cuenta los impactos ambientales generados a lo largo de los procesos de fabricación. Durante la etapa de inventario de entradas y salidas se seleccionara una muestra base para interpretar el comportamiento acústico del material. Posteriormente se evaluarán los datos conforme a las comparaciones obtenidas con el fin de interpretar los datos mediante evaluación de impactos ambientales e interpretación con base al objetivo planteado como menciona Leiva⁴⁶. El estudio se dividirá en: Inventario de entradas y salidas; Evaluación y análisis de impactos ambientales ya que el ACV se obtendrá de estudios consultados.

2.1 INVENTARIO DE ENTRADAS Y SALIDAS (PRFV)

El inventario de entradas y salidas involucra todos por procesos más relevantes para la obtención del producto, así mismo aquellos procesos que suceden al final de la etapa de ciclo de vida del material. Algunos estudios desarrollados con base a los PRFV describen la cantidad de energía requerida a lo largo de todos sus procesos. La tabla 2 recopila los datos de un primer caso de estudio en un PRFV durante los procesos de producción, transporte, uso y eliminación.

Tabla 2 Energía requerida durante el ciclo de vida de un PRFV (Pallet)

	Producción		Transporte	Uso	Eliminación	Reciclado (-)	Total energía
Matriz de polipropileno	883 MJ	168 MJ	3,9 MJ	214,5 MJ	2,93 MJ	190 MJ	1400 MJ
Fibra de vidrio	303 MJ				10,7 MJ		

Fuente : Autor, basado en CORBIERE T. et al. Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics Analisis de ciclo de vida de biofibras reemplazando los PRFV. En Elsevier (Resources, Conservation & Recycling) Vol. 33 (4) (2001) p. 271. En [Google académico] Disponible en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000891> doi:10.1016/s0921-3449(01)00089-1

⁴⁵ LEIVA, H. Análisis de ciclo de vida. En EOI [Google Académico] Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental (Madrid) p.16, 2016 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en : <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25482/analisis-de-ciclo-de-vida>

⁴⁶ *Ibíd.*, p. 25-30

Corbiere⁴⁷ menciona a partir de la tabla 2, las características del PRFV para formar un pallet de transporte teniendo como base de cálculo para este estudio, los siguientes datos: Expone la cantidad de energía requerida durante el ciclo de vida de un PRFV utilizando una matriz base de polipropileno; los procesos de fabricación fueron moldeo por compresión e inyección para la etapa de producción tanto de la resina y la fibra por separado como del PRFV reforzado; el peso total del material reforzado es de 15kg donde la fibra aislada pesa 6.27 kg y la matriz de polipropileno 8.73 kg ; en el cálculo la cantidad de energía utilizada para transporte se basó en un camión de 40 toneladas y una van <3.5 toneladas; la etapa de uso se tuvo en cuenta en un periodo de 5 años; finalmente, la eliminación tuvo en cuenta procesos de incineración tanto de la fibra de vidrio como del compuesto PRFV y procesos de reciclado en el material que se puede aprovechar, por lo tanto este dato no suma como energía utilizada si no aprovechada.

Aunque este caso de estudio contiene los datos completos de un ACV, el PRFV en pallet es utilizado como un producto para transporte mas no como aislante acústico, el comportamiento de los PRFV como aislantes se da en forma de paneles, los cuales son los utilizados en edificaciones, como se describió en los materiales aislantes acústicos. Por lo tanto se consideró necesario obtener los datos de un PRFV en panel.

Riveros⁴⁸ menciona que la energía total requerida en MJ/kg de PRFV en panel es de 42.7 MJ/kg. A continuación en la tabla 3 se muestran los datos de dos paneles de fibra de vidrio durante su ciclo de vida, teniendo en cuenta dos resinas diferentes una de polipropileno PP30 (polipropileno al 30 %) en un panel de 1 Kg y poliéster en un panel de 2.44 Kg, en comparación con los datos del PRFV pallet.

⁴⁷ CORBIERE, T., et al. Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics Analisis de ciclo de vida de biofibras reemplazando los PRFV. Elsevier (Resources, Conservation & Recycling) [Google académico] Vol. 33 (4) p. 267-278. [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en PDF Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000891>.

⁴⁸ RIVEROS, C. Evaluación de emisión de Co2 y energía consumida por procesos del sistema constructivo: Paneles fibrocemento. En Cap&Cua [dialnet] Edición 11 p. 32, 2014 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es> > descarga > artículo

Tabla 3 Energía requerida durante el ciclo de vida de un PRFV (Pallet vs Panel)

Material	Producción	Transporte	Uso	Eliminación	Reciclado	Energía total MJ/Kg	Peso kg	Energía Total MJ
Polipropileno	101,15			0,34	21,76	155	8,73	1400
Fibra de vidrio	48,33			1,71			6,27	
PRFV Pallet	11,2	0,26	14,3				15	
Polipropileno	27,86			0,094	5,99	42,7	3,33	427
Fibra de vidrio	13,3			0,47			6,67	
PRFV Panel	3,08	0,072	3,94				10	
Poliéster	27,86			0,094	5,99	42,7	2,02	104,188
Fibra de vidrio	13,3			0,47			0,42	
PRFV Panel	3,08	0,072	3,94				2,44	

Nota: Autor basado en:

(1) BIRON, M. Industrial applications of renewable plastics: Environmental, technological and economic advances. Elsevier 2017 Cap. 7 p 444

(2) RIVEROS, C. Evaluación de emisión de Co2 y energía consumida por procesos del sistema constructivo: Paneles fibrocemento. 2014 Cap&Cua. Edición 11 p. 32

(3) BATOULI, S., Zhu, Y. Comparative Life-Cycle Assessment Study of Kenaf Fiber-Based and Glass Fiber-Based Structural Insulation Panels. En ICCREM 2013.p. 381-382

Para la obtención de los datos de la tabla 3 se utilizaron los mismos procesos para el PRFV panel de polietileno que para el previamente visto PRFV pallet pues según Biron⁴⁹ los datos de su estudio concuerdan con los datos de la tabla 2 en cuanto a energía requerida durante procesos de obtención de materia prima y producción. Sin embargo, los datos de PRFV panel de poliéster se obtuvieron con base al ACV basado en el estudio de Batouli⁵⁰ aunque no tiene algunos procesos como transporte y uso, se calcularon a partir de los pesos obtenidos por el estudio.

2.1.1 Selección de panel (PRFV) en base al inventario de entradas y salidas.

La tabla 3 muestra cual es el panel con menor cantidad de energía requerida para su fabricación, el panel de poliéster el cual requiere 104.2 MJ frente al panel de polipropileno. Utilizando el peso (Wt) y el peso específico (Pe) del panel de poliéster es posible calcular el volumen total del panel (Vt)

$$Pe(PRfV) = 1.8 \frac{kg}{m^3}$$

⁴⁹ BIRON, M. Industrial applications of renewable plastics: Environmental, technological and economic advances. En [Elsevier] Cap. 7 p. 444. 2017 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323480659000078>

⁵⁰ BATOULI, S y Zhu, Y. Comparative Life-Cycle Assessment Study of Kenaf Fiber-Based and Glass Fiber-Based Structural Insulation Panels. En ICCREM p. 385, 2013. [Google Académico] [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413135.036>

$$Wt = 2.44 \text{ kg}$$

$$Pe (PRFV) = \frac{Wt}{Vt}$$

$$Vt = \frac{Wt}{Pe(PRfV)}$$

$$Vt = \frac{2.44 \text{ kg}}{1.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Vt = 1.36 \text{ m}^3$$

$$Vt = A * E$$

El espesor usualmente puede variar entre 1 y 2 pulgadas en adelante para el caso en estudio se selecciona un espesor estándar de 5 cm (2 pulgadas).

$$A = \frac{1.36 \text{ m}^3}{0.05 \text{ m}}$$

$$A = 27.2 \text{ m}^2 \quad L = \sqrt{27.2 \text{ m}^2} \quad L = 5.21 \text{ m}$$

A partir del área se pueden obtener diferentes dimensiones de paneles, los paneles con longitudes de 5 m tienen dimensiones de 5m x 1.2 m usualmente según los catálogos de paneles acústicos, como muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8 Dimensiones de paneles según catálogo Tecsound.

Producto	Gramaje (Kg/m ²)	Espesor (mm)	Presentación
Tecsound® 35	3,5	1,75	Rollos de 8 m x 1,22 m
Tecsound® 60	6,0	3,0	Rollos de 5 m x 1,22 m
Tecsound® 70	7,0	3,5	Rollos de 5 m x 1,22 m
Tecsound® 100	10,0	5,0	Planchas de 1,20 m x 1,00 m

Fuente: TECSOUND. Sistemas de aislamiento acústico para obra y nueva rehabilitación. En [Línea] Sexta Edición. Barcelona .Texa. S.A. 2019. p, 1-50.

Sin embargo el peso y el espesor varían cuando se obtienen estas dimensiones. Una de las dimensiones estándar para los paneles acústicos suelen ser medidas de 60 x 60 cm. Reverb-Out ⁵¹, por ejemplo, muestra paneles de poliéster de un tamaño estándar de 60 x 60 cm con variaciones en el espesor y el peso. A partir de esto representa el NRC de los paneles. Para un panel de 5 cm de espesor se muestra la siguiente grafica 1.

⁵¹ REVERB-OUT. Catálogo de materiales de absorción acústica. En ReverbOut [Línea] p.2-3 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en https://www.reverb-out.com › images › Catalogo_Reverb_Out

Grafica 1 Niveles de absorción acústica en un panel de poliéster



Fuente: REVERB-OUT. Catálogo de materiales de absorción acústica. En ReverbOut [Línea] p.2 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en https://www.reverb-out.com › images › Catalogo_Reverb_Out

Para el panel de 5cm de espesor con medidas estándares de 60 x 60 tipo AB-50 (clasificación para el tipo de medida) el NRC es de 0.63 según el catálogo utilizado y así mismo mencionan el punto máximo de absorción acústica a partir de los 1.5 KHz como se muestra en la gráfica. El peso de estas muestras estándar varía entre los 1.84 kg a 3.5 kg.

2.2 EVALUACION Y ANALISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES (PRFV)

Según Biron⁵² los impactos ambientales se evalúan a partir de indicadores los cuales se determinan dependiendo del producto y el proceso de evaluación que se realice. La evaluación del ciclo de vida define los criterios bajo los cuales se están generando impactos al medio ambiente a través de estos indicadores, algunos de estos pueden ser:

- Demanda bioquímica de oxígeno(DBO) en el agua (mg/kg)
- Emisiones de dióxido de carbono (kg/unidad)
- Monóxido de carbono (CO) emisiones (g/unidad)
- Emisiones de CO₂ (kg)
- Energía no removable acumulativa de uso MJ
- Ecoindicador 95—acidificación (kg SO₂ eq)
- Ecoindicador 95—carcerogenesis (1027kg PAHeq)

⁵² BIRON,M, Op. Cit. p. 456

- Energía de construcción o producción, GJ or MJ
- Energía usada (MJ/kg) • GHG para producción, kg CO2 eq
- Efecto invernadero (kg CO2 eq)
- Potencial de calentamiento global (GWP), Toneladas de CO2 equivalentes
- Toxicidad humana (kg 1,4 dichleq)
- Metano (g)
- Emisiones de nitrato en el agua (g)
- Emisiones NOx (g/kg)
- Material particulado (g/kg)
- Emisiones de fosfato en el agua (g)
- emisiones de SOx (g/kg)
- Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4 dichleq)
- Energía total
- Total de gases de efecto invernadero
- Emisión de contaminantes en el agua—BOD (mg)

Biron⁵³ menciona que los indicadores fundamentales para desarrollar el ACV de los PRFV son:

- Energía requerida expresada por unidad, por ejemplo, en MJ/kg de polímero, MJ/1000 partes u otros.
- Huella de carbono expresada en kg CO2 equivalentes por kg de plástico o ppm etc.

Como se observó en el desarrollo de inventario de salidas y entradas se utilizó como base la cantidad de energía requerida total para la producción de un panel de PRFV. Utilizando los datos obtenidos se puede realizar la evaluación de otros indicadores para determinar el impacto ambiental causado por este producto.

La evaluación de impactos se realiza a través de ciertas metodologías donde se determinan los indicadores más adecuadas para realizar el ACV, para el caso de los PRFV Batouli⁵⁴ menciona una metodología conocida como BEES Building for Environmental and Economic Sustainability (Sostenibilidad del medio ambiente y economía en la construcción). Esta metodología describe las siguientes categorías de impactos medioambientales.

⁵³ Ibíd., p. 444

⁵⁴ BATOULI, S y Zhu Y, Op.Cit. p. 383

Cuadro 9 Categoría de impactos ambientales según método BEES.

Impact Category	Unit of Evaluation
Global Warming	g. CO2 eq.
Acidification	H+ moles eq.
Human Health Cancer	g. C6H6 eq.
Human Health Noncancer	g. C7H7 eq.
Human Health Criteria Air Pollutants	micro DALYs
Eutrophication	g. N eq.
Ecotoxicity	g. 2,4-D eq.
Smog	g. NOx eq.
Natural Resource Depletion	MJ surplus
Indoor Air Quality	Kg TVOC (Total Volatile Organic Compounds) eq.
Habitat Alteration	T&E count
Water Intake	Liters
Ozone Depletion	g. CFC-11 eq.

Fuente: BATOULI, S y Zhu, Y. Comparative Life-Cycle Assessment Study of Kenaf Fiber-Based and Glass Fiber-Based Structural Insulation Panels. En ICCREM p. 385, 2013. [Google Académico] [Consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413135.036>

Sin embargo, la metodología mostrada en el cuadro 9 no es la única utilizada según Corbiere⁵⁵ los métodos para evaluar el ACV de los PRFV puede variar, dentro de estos menciona el Ecoindicador 95 y CLM 92. Otros métodos también pueden ser los eco puntos o EPS 2015d y EPS 2015dx dependiendo el proceso de producto.

Pré⁵⁶ expone una base de datos de múltiples métodos para ACV categorizados en siete apartados donde se mencionan los métodos utilizados en Europa; Norteamérica; a nivel global; problemáticas individuales; huella hídrica, y el séptimo apartado el cual habla de múltiples métodos aplicables a diferentes ramas, dentro de los cuales se encuentran los inicialmente mencionados como CML92, Eco indicadores 95 y 99, BEES entre otros.

A partir de esta información y teniendo como base de resultados la cantidad de energía utilizada durante el ciclo de vida de un PRFV para el caso de estudio 1 se observa una de estas metodologías como la CML 92 realizada en un PRFV pallet en la tabla 4:

⁵⁵ CORBIERE, Op. Cit. p. 272

⁵⁶ PRÉ, et al. SimaPro Database Manual. En Methods Library [Google académico]. Cap 7 p. 45 Febrero 2019 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2019/02/DatabaseManualMethods.pdf>

Tabla 4 Resultados con metodología CML 92

	Unit	GF pallet
Human toxicity	kg 1,4 dichl _{eq.} /pal.	21.2
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4 dichl _{eq.} /pal.	5250
Aquatic ecotoxicity	kg 1,4 dichl _{eq.} /pal.	1.09
Greenhouse effect	kg CO _{2eq.} /pal.	75.3
Ozone formation	kg ethylene _{eq.} /pal.	0.208
Acidification	kg SO _{2eq.} /pal.	0.653
Eutrophication	kg PO _{4eq.} /pal.	0.0682
Energy	MJ/pal.	1400

Fuente: CORBIERE, T., et al. Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics Analisis de ciclo de vida de biofibras reemplazando los PRFV. Elsevier (Resources, Conservation & Recycling) [Google académico] Vol. 33 (4) p. 267-278. [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en PDF Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000891>.

Según Corbiere⁵⁷, cada uno de los datos se evalúa con base en la cantidad de emisiones generadas de las sustancias químicas producidas durante todo el proceso de ciclo de vida del producto, se determinan a partir de emisiones de aire, suelo y agua. Algunas de las sustancias cuya afectación determina el resultado de los datos es la cantidad de metales pesados emitidos al suelo, el efecto invernadero, por otra parte se ve expresado en cantidad de CO₂ emitido y cantidad de Ozono formado a partir de las emisiones al aire y datos como la ecotoxicidad en el agua y ecotoxicidad terrestre involucran la cantidad de emisiones al agua y la toxicidad humana según PRé⁵⁸ incluye sustancias tóxicas para la salud humana que se ven reflejadas en suelo, aire y agua.

Sin embargo a partir de otros indicadores se puede evaluar el impacto ambiental generado por de la fibra de vidrio previamente a ser un compuesto y el efecto del PRFV de poliéster en panel como se muestra en la tabla 5.

⁵⁷ CORBIERE, T., et al. Op.Cit. p. 274-275.

⁵⁸ PRé, Op. Cit. p. 46

Tabla 5 Impactos ambientales en PRFV (pallet y panel).

	PRFV (Polietileno)	PRFV (Poliéster)
Resultados por	Pallet	Panel
Energía usada (MJ/kg)	1400	104,188
Emisiones de CO ₂ (kg/kg)	75,3	5,60
DQO en el agua (mg/kg)		
Emisiones de SO _x (g/kg)	289	21,51
DBO en el agua (mg/kg)	414	30,81
Material particulado (g/kg)		
Emisiones de NO _x (g/kg)	513	38,18
Emisiones de CO (g/kg)	74,3	5,53
Metano (g)		
Fosfatos en agua (mg/kg)	0,59	0,04
Nitratos en agua (mg/kg)	1,72	0,13

Fuente: Autor basado en BIRON, M. Industrial applications of renewable plastics: Environmental, technological and economic advances. En [Elsevier] Cap. 7 p. 444. 2017 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323480659000078>

El valor de energía requerida y el valor de CO₂ liberado son los datos más determinantes de impacto para un PRFV, como se había mencionado. La tabla 5 muestra los datos de un PRFV en pallet y en panel en donde las cantidades de CO₂ liberadas para el PRFV de poliéster son de 5.6 Kg de CO₂ eq. Kg. Para un panel de poliéster fabricado con fibra de vidrio se requieren 104.88 MJ de energía durante todos sus procesos como se observó en la tabla 3.

Con el fin de minimizar dichos impactos es posible considerar otros procesos los cuales consuman menos energía y de la misma forma disminuyan la cantidad de CO₂ producida. En primera instancia se puede considerar realizar un cambio en los

procesos de producción, como se mencionaron los procesos de los PRFV son muy similares a los procesos de fabricación del plástico. Biron⁵⁹ menciona las cantidades de energía requerida en diferentes procesos de fabricación de plástico, en donde el proceso de compresión por moldeo es uno de los de mayor consumo energético, aunque sigue siendo uno de los más utilizados.

Otra posibilidad la cual se trabajó en el inventario de entradas y salidas es la cantidad de energía requerida para producir diferentes tipos de paneles como se mostró en la tabla 2, variaba con respecto a la resina seleccionada como se compararon las resinas de polipropileno y poliéster. Es posible entonces que las resinas disminuyan en mayor cantidad la energía requerida para obtener el producto, sin embargo las resinas trabajadas son las resinas con menores costos como se mencionó en el cuadro 5, las resinas de poliéster están incluidas dentro de este rango.

Sin embargo una de las variables que no se trabajó con la cual es posible realizar una medida de comparación y determinar el impacto es la fibra de vidrio previamente a ser compuesto, ya que ocupa gran cantidad del peso total del compuesto y puede ser una variable la cual disminuya el consumo energético y emisiones de efecto invernadero.

Dahy⁶⁰ menciona los PRFN (plásticos reforzados con fibra natural) como materiales con menor consumo energético al momento de ser producidos. El siguiente capítulo busca explicar estos compuestos con el fin de determinar la capacidad de absorción acústica y su impacto ambiental.

⁵⁹ BIRON, M, Op. Cit. p. 453-454

⁶⁰ DAHY, H. Op. Cit. p. 3-4

3. MATERIALES COMPUESTOS NATURALES PRFN AISLANTES ACUSTICOS SUSTITUTOS A LA FIBRA DE VIDRIO EN LOS PRFV.

Actualmente, algunos materiales han comenzado a ser estudiados debido a sus capacidades como aislantes acústicos. Páez ⁶¹, menciona que se han fabricado materiales compuestos sustituyendo la fibra de vidrio por fibras naturales, como las fibras de coco, bagazo de caña, guadua y bambú entre otras.

Según Páez ⁶² en otros casos, se plantean las posibilidades de utilizar materiales ecoeficientes con el fin de actuar como aislantes acústicos y se determinaron sus capacidades absorbentes con base a la frecuencia de ruido, un material acústico absorbente basado en fibras vegetales de Kenaf.

Sanjay⁶³ menciona que estos materiales naturales los cuales pueden reemplazar a la fibra de vidrio como compuesto en los PRFV, se comportan como un reforzante en un compuesto con resina sintética. Como se describieron previamente los PRFV son compuestos de una resina plástica reforzada con fibra de vidrio, así mismo los plásticos reforzados con fibra natural (PRFN) son compuestos cuyo refuerzo es una fibra natural.

Según Sanjay⁶⁴ estos compuestos de fibra natural tienen características similares a los compuestos con fibra de vidrio, dependiendo del tipo de fibra y de resina las propiedades del compuesto pueden variar.

Los compuestos con fibras naturales son también llamados Green composites “son materiales no homogéneos que pueden caracterizarse como parte de soluciones al aislamiento acústico al tratarse de elementos ligeros”⁶⁵. Por otra parte, según

⁶¹ PÁEZ, D. Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de la guadua. Tesis. En repositorio en línea [Google Académico] Universidad Nacional de Colombia p.5-6, 2016 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/54981/darioalfonsopaezsoto.2016.pdf>

⁶² *Ibíd.*, p. 7

⁶³ SANJAY, M. y YOGESHA, B. Op. Cit. p. 2741-2742

⁶⁴ *Ibíd.*, p. 2742-2743

⁶⁵ DEL REY, Romina, et al. Estudio de la influencia del tipo de fibra y resina en composites como soluciones ligeras para aislamiento acústico. En Proceedings of the 48o Congreso Español De Acústica (Tecnicaústica 2017) y Encuentro Ibérico De Acústica [Google académico] A Coruña, Spain. p. 4-6. 2017. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://ftp.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AED-2_011_02.pdf

Sanjay⁶⁶ las fibras naturales pueden derivarse de las plantas, animales o minerales; Todas las fibras derivadas de las plantas se componen de celulosa, mientras que las fibras animales se conforman por proteínas, como el (cabello, la madera y la seda). Las fibras vegetales incluyen fibras de estera o tallo (p. Ej., Lino, cáñamo, yute, kenaf, roselle, ramio), hojas o fibras duras (p. Ej., Abacá, plátano, cántala, caroa, palmera datilera, henequén, piña, sisal), semillas (p. ej., algodón), frutas (p. ej.: fibra de coco, kapok, palma aceitera, calabaza esponjosa), madera, paja de cereales y otras fibras de hierba.

Sin embargo, no todos los materiales que se encuentran en la naturaleza son óptimos para fabricar compuestos de PRFN. El cuadro 10 muestra las fibras aptas para formar estos compuestos, los cuales cumplen también con el criterio de ser aislantes acústicos.

Cuadro 10 Materiales aislantes naturales

Material	PRFN	Costo
Corcho	No	Muy bajo
Cereal granulado	No	Muy bajo
Viruta	No	Muy bajo
Fibras de madera + Aditivos	Si	Bajo
Fibras de coco	Si	Muy bajo
Fibras de celulosa	Si	Muy bajo
Tableros de corcho	No	Muy bajo
Lino	Si	Muy bajo
Cañamo	Si	Muy bajo
Algodón y lana de oveja	Si	Muy bajo
vidrio celular	Si	Bajo
Reeds	Si	Muy bajo
Fardos de paja	Si	Muy bajo

Fuente: Autor basado en: DESIDERI U. y ASDRUBALI F. Handbook of Energy Efficiency in Buildings A Life Cycle Approach. Libro [Google Académico]. Cap. 6.2 p. 297-298, 2019 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128128176000395>.

⁶⁶ SANJAY, M, et. al. Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. En: Natural resources [Google Académico] Vol. 7, p. 109-110 , 2016 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sanjay_M_R/publication/297895894_Applications_of_Natural_Fibers_and_Its_Composites_An_Overview/links/56e771a108ae438aab88372b.pdf

Como se observa en el cuadro 10, según Desideri⁶⁷, también se determinaron los costos de estos materiales al ser compuestos, aquellos con costos muy bajos son actualmente materiales altamente demandados para investigación, mejora y aplicación en la construcción.

Lo anterior también se atribuye a las características que poseen estos materiales, tanto el compuesto de fibra como la resina a continuación se describirán los PRFN más óptimos en función de su aislamiento acústico y sus características individuales como aislantes.

3.1 MATERIALES NATURALES COMPUESTOS PRFN, SU AISLAMIENTO ACUSTICO EN BASE A LA RESINA

Estos materiales al igual que los PRFV constan de una resina base la cual como se observó en la tabla 2 ocupan un alto porcentaje del compuesto Cuando la matriz es un polímero, el compuesto se llama compuesto de matriz de polímero (PMC). La fase de refuerzo puede ser de naturaleza fibrosa o no fibrosa (partículas) y si las fibras se derivan de plantas u otras especies vivas, se llaman fibras naturales.

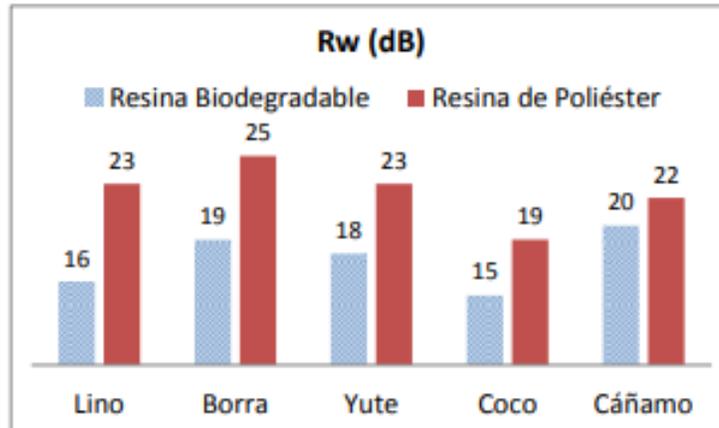
Según un estudio realizado por Azkorra⁶⁸, existe la posibilidad de utilizar resinas reciclables o biodegradables. Sin embargo, otro estudio desarrollado por Del Rey⁶⁹ demostró que las resinas reciclables o biodegradables poseen coeficientes de absorción acústica menores a los compuestos con resinas sintéticas no necesariamente reciclables como el poliéster, donde se examinaron cinco fibras naturales en compuestos de PRFN y se determinó que las resinas de polímeros sintéticos poseen valores más altos en cuanto a resistencia acústica, como muestra la grafica 2.

⁶⁷ DESIDERI U. y ASDRUBALI F. Handbook of Energy Efficiency in Buildings A Life Cycle Approach. Libro [Google Académico]. Cap. 6.2 p. 297-298, 2019 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128128176000395>.

⁶⁸ AZKORRA, G, et. al. Evaluation of Green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. Evaluación de paredes verdes como sistemas para edificaciones pasivas de aislamiento acústico. 2015. En: Applied Acoustics [EbscoHost] p.48, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X14002333?via%3Dihub>

⁶⁹ DEL REY, Romina, et. al., Op. Cit. p. 5-6

Grafica 2 Índice de reducción de ruido R_w (db), valores ponderados en cinco placas de PRFN



Fuente: DEL REY, Romina, et al. Estudio de la influencia del tipo de fibra y resina en composites como soluciones ligeras para aislamiento acústico. En Proceedings of the 48o Congreso Español De Acústica (Tecnacústica 2017) y Encuentro Ibérico De Acústica [Google académico] A Coruña, Spain. p. 4-6. 2017. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://ftp.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AED-2_011_02.pdf

En donde los valores del coeficiente a diferencia del NRC están dados por el índice R_w , el cual para este estudio se calculó en la cantidad de decibeles máximos que puede llegar a reducir el material con diferentes resinas. Es decir, este índice es el NRC calculado en decibeles. A partir de lo anterior los compuestos con fibras naturales los cuales se describirán a continuación se desarrollaran teniendo en cuenta como resina base poliéster en función de su aislamiento acústico, se describirán tres tipos de fibras naturales como compuestos en los PRFN.

3.2 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE KENAF

Según Sanjay⁷⁰ los compuestos con fibra de Kenaf actualmente son muy estudiados debido a su composición y características tanto físicas como químicas; las fibras de Kenaf son obtenidas de una planta (*Hibiscus cannabinus* L. familia Malvacea), y se utilizan como refuerzo en las matrices poliméricas como se ha mencionado antes, el kenaf es considerada una de las fuentes naturales de compuesto más importantes en aplicaciones industriales. Además se le conoce como una Fuente de celulosa con ventajas tanto ecológicas como económicas; al igual que los materiales expuestos en el cuadro 10 los costos por producción del kenaf son muy bajos

⁷⁰ SANJAY, M, et. al., Op. Cit. p. 109

menciona Thakur⁷¹. Por otra parte Batouli⁷² menciona en cuanto al rendimiento y producción en costos de esta planta con respecto a otras fibras como el cáñamo, Yute y lino es más rentable.

Akil⁷³ especifica que dentro de los procesos de producción el tiempo de crecimiento de la planta es relativamente bajo comparado con otro tipo de plantas utilizadas para ser fibras de refuerzo naturales, el Kenaf puede crecer en diferentes tipos de condiciones ambientales puede crecer en tan solo 3 meses y llegar a alturas aproximadas de hasta 3 metros; el diámetro de su tallo puede llegar a ser de hasta 5 cm. Sanjay⁷⁴ también menciona que la planta de Kenaf está compuesta de muchos componentes útiles como sus hojas y sus semillas de las cuales se pueden obtener fibras, proteínas, aceites y químicos alopáticos. Sin embargo según Giraldo⁷⁵ Existen diferentes variables las cuales afectan el crecimiento de la planta dentro de estos factores se encuentran factores bióticos (plagas) y abióticos (épocas de siembra, terreno de cultivo, etc.).

Según Batouli⁷⁶ otra de las propiedades actualmente remarcables del Kenaf es su alto coeficiente de absorción acústica NRC el cual se encuentra entre (0.07 a 0.26 para rangos de frecuencia de 125 to 4000 Hz), también posee unos valores de resistencia térmica los cuales combinados con su baja densidad producen fibras de kenaf como un refuerzo excelente para utilizarse en paneles de aislamiento.

Los filamentos de Kenaf consisten en fibras discretas de generalmente 2-6 mm a partir de las cuales se pueden fabricar elementos como los paneles de PRFV con

⁷¹ THAKUR, V. y Thakur, M. Processing and Characterization of Natural Cellulose Fibers/Thermoset Polymer Composites. En Carbohydrate Polymers [Elsevier] Vol 109. 2018 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714002719?via%3Dihub>.

⁷² SELLERS, T., MILLER, G. y FULLER, M. Kenaf core as a board raw material. citado por BATOULI, S y Zhu Y. Op.Cit. p. 379

⁷³ AKIL, H.M et.al Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Review. En: Materials and Design [Elsevier] Vol. 32 No. 8, p. 4110 , sep, 2011 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306911002639?via%3Dihub>

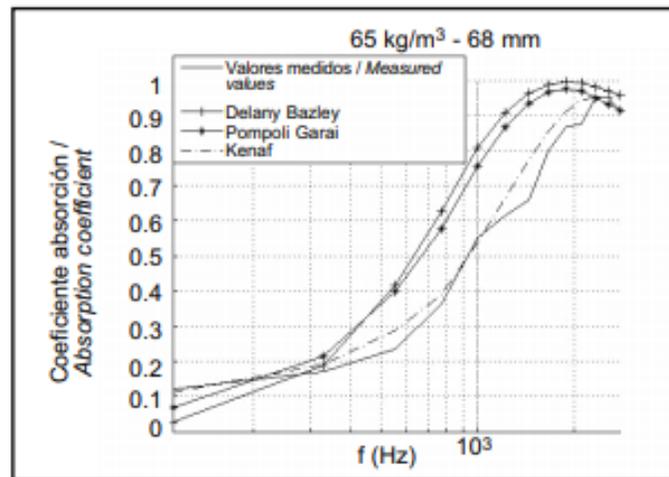
⁷⁴ SANJAY, M, et. al. Op. Cit. p. 109-110

⁷⁵ GIRALDO, A. Aspectos generales del kenaf (Hibiscus Hibiscus cannabinus cannabinus, L.). En Temas [Google académico]. Ensayo. p.9-10. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF Disponible en: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0703.pdf>

⁷⁶ BATOULI, S y Zhu Y, Op.Cit. p. 380

medidas similares y con espesores variables según Sanjay⁷⁷. Un estudio realizado por Ramis⁷⁸ en el cual se realizaron pruebas acústicas de un compuesto de poliéster reforzado con kenaf concluyo en base a la gráfica 3, que los coeficientes de absorción acústica en un panel de Kenaf de 68 mm o 6,8cm alcanza un coeficiente NRC de aproximadamente 0.55 en frecuencias de 1000 Hz.

Gráfica 3 Coeficiente de absorción en incidencia normal; comparación de valores medidos y valores predichos con diferentes modelos



Fuente: RAMIS, J., Alba, J., et.al. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. En *Materiales de Construcción* [Google Académico] Vol. 06, no. 299, p. 133-143 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/429/477>

En la gráfica 3 se observan los valores de los coeficientes de absorción acústica del Kenaf comparado con dos métodos de cálculo de coeficientes de absorción (Delany Bazley y Pompoli Garay).

⁷⁷ SANJAY, M, et. al., Op.Cit. p. 110

⁷⁸ RAMIS, J., Alba, J., et.al. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. En *Materiales de Construcción* [Google Académico] Vol. 06, no. 299, p. 133-143, 2010 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/429/477>

3.3 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE COCO

Las fibras de coco como reforzantes en los compuestos de PRFN provienen de la cascara del coco. A diferencia de las fibras de Kenaf, las fibras de coco, según García⁷⁹ poseen una gran cantidad de lignina, por lo cual tienen una mayor duración antes de degradarse al compararse con otras fibras naturales. Según García⁸⁰ y Trejos⁸¹, esto genera en algunos lugares del mundo una producción de residuos orgánicos alta, por lo cual se considera que al aprovechar el material como compuesto reforzante se disminuye la contaminación por residuos sólidos.

Bongarde⁸² menciona que las fibras de coco son reforzantes superiores a otros tipos de reforzantes naturales debido a sus propiedades físicas como la densidad puesto que la fibra de coco es de muy baja densidad comparada con fibras de lino, Yute, Cañamo, Bambú y Sisal. También tienen la característica al igual que las fibras de vidrio de ser reforzantes en diferentes tipos de resinas y aportar buenas propiedades mecánicas al material. Bongarde⁸³ menciona que las fibras de coco pueden reforzar tanto las resinas termoplásticas como las termoestables y su capacidad de adhesión es muy alta en condiciones secas, estas propiedades entre otras propiedades mecánicas han generado un alto desarrollo en la industria, además de esto, se hace factible diversidad de aplicaciones, dentro de estas se encuentra la demanda de este material para fabricación de paneles aislantes.

⁷⁹ GARCIA, Silvia. Estudio para la industrialización de la fibra de coco en Esmeraldas. Trabajo de Grado [Repositorio Digital]. Ingeniera Industrial. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Guayaquil p.12-17, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13414/1/UPS-GT001768.pdf>

⁸⁰ *Ibíd.* p. 1-16; 40

⁸¹ TREJOS, Juan. Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con fibra de vidrio. [Repositorio Digital] Trabajo de grado. Ingeniero mecánico. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. p. 60, 2014 [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7f52/5d97b10b642a7db7e722b10311ccf5cf13e1.pdf>

⁸² BONGARDE, U. y SHINDE, V. Review on natural fiber reinforcement polymer composites. En: International Journal of Engineering Science and Innovative Technology [Google Académico] vol. 3, no 2, p. 431-432, 2014 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Serge_Shilko/post/Which_natural_fiber_behavior_is_suitable_for_Polymer_composite_applications/attachment/59d61de779197b807797c2df/AS%3A273844357533696%401442300990099/download/natural+fibers+for+polymer+composites.pdf

⁸³ BONGARDE, U. y SHINDE, V. Op. Cit. p. 432-433

Un estudio realizado por Beltran⁸⁴ determinó que para un panel compuesto con fibra de coco de 1cm de espesor los valores de coeficiente acústico medidos en cinco muestras con diferentes valores de ruido logran disminuir hasta 30 dB con un porcentaje de reducción máxima de hasta 30% para ruidos exteriores de 100 dB; otro estudio según Mohanty⁸⁵ muestra que la fibra de coco tiene valores del NRC para frecuencias entre los (250-4000 Hz de 0.1-0.75) y menciona que posee valores altos de absorción acústica.

3.4 PRFN COMPUESTO CON FIBRA DE YUTE

Según Mohanty⁸⁶ el yute es una fibra vegetal natural y ha sido promovida como una de las fibras más fácilmente disponibles, ecológicas y abundantes, se cultiva en grandes cantidades cerca de cuerpos de agua en la parte oriental de India y Bangladesh y se exportan a todo el mundo para uso en diversas aplicaciones. Bongarde⁸⁷ también menciona que el yute es una fibra de lignina-celulosa compuesto principalmente de los materiales vegetales: celulosa (componente principal de la fibra vegetal) y lignina (componente principal de la fibra de madera). Además, se encuentra dentro de la clasificación de fibra recolectada de la estopa o piel de la planta como el kenaf, cáñamo industrial, lino, ramio, entre otros.

Bongarde⁸⁸ menciona que en algunos casos, las fibras crudas de Yute después del procesamiento apropiado se pueden cortar y usar como relleno de mantas y almohadillas de control de ruido también, en las fábricas de yute, donde se fabrican textiles a base de yute, los residuos del material que se producen durante la operación de recorte de estos textiles se pueden utilizar como relleno acústico para

⁸⁴ BELTRAN, N y MARTINEZ, J. Comparación de prototipos de fachadas termo-acústicas fabricadas con fibras vegetales para vivienda unifamiliar con fachada de tipo estándar de concreto vaciado. En [repositorio] Trabajo de grado. Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. p.67 2017. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15291/1/Trabajo%20de%20Grado%20%20Comparaci%C3%B3n%20de%20prototipos%20de%20fachadas%20termoac%C3%A1sticas%20fabricadas%20con%20fibras%20ve.pdf>

⁸⁵ MOHANTY, A. y FATIMA, S. Noise control using green materials. En Sound and Vibration [Google Académico] Vol. 49, No 2, p. 13-15, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://tsp.techscience.com/uploads/attached/file/20181120/20181120130912_26515.pdf

⁸⁶ *Ibíd.*, p. 13-14

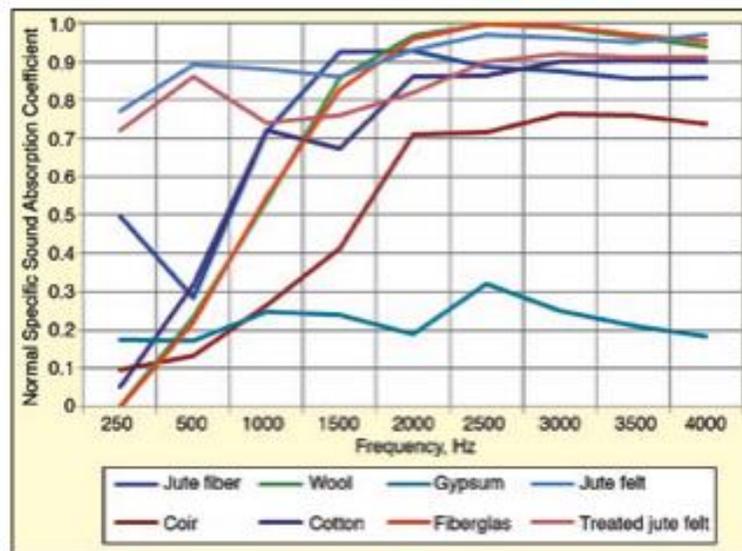
⁸⁷ BONGARDE, U. y SHINDE, V. Op. Cit. p. 434-435

⁸⁸ *Ibíd.*, p. 435

controlar el ruido. Según Mohanty ⁸⁹ existen diferentes formas de derivados de yute fabricadas a través de diversos procesos desde la planta de yute crudo que permiten ser utilizadas como aislantes acústicos dentro de los cuales están los paneles de yute, los fieltros de yute y las fibras comunes en forma de paneles.

La grafica 4 muestra tres tipos de derivados de Yute en función de su aislamiento acústico, además muestra otros tipos de fibras naturales con sus coeficientes acústicos.

Grafica 4 Coeficientes de absorción acústica derivados del Yute y otros.



Fuente: MOHANTY, A. y FATIMA, S. Noise control using green materials. En Sound and Vibration [Google Académico] Vol. 49, No 2, p. 13-15, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://tsp.techscience.com/uploads/attached/file/20181120/20181120130912_26515.pdf

En la gráfica 4 se observan valores de frecuencia entre los 250 y 4000 hz en donde los fieltros de Yute o paneles poseen coeficientes de absorción acústicas entre los 0.7 y 0.98 en el rango de frecuencias; según Mohanty⁹⁰ las fibras de Yute logran los coeficientes de absorción más elevados para los rangos entre 250 y 1000 hz de frecuencia como se observa en la gráfica Jute felt (panel de yute) a 1000 hz tiene un coeficiente entre los 0.85-0.89.

⁸⁹ MOHANTY, A. y FATIMA, S, Op. Cit. p. 14

⁹⁰ *Ibíd.*, p. 14-15

Kinnane ⁹¹ menciona que el Yute es una opción favorable como aislante acústico ya que comparado con otros materiales de construcción posee unas características de aislamiento acústicas superiores.

3.5 COMPARACION DE MATERIALES PRFV-PRFN EN FUNCION DE SU AISLAMIENTO ACUSTICO

Según Kinnane⁹² la comparación del coeficiente de absorción acústica es un valor difícil de comparar puesto que no es un valor estándar. Por lo tanto dependiendo de las características de diferentes materiales las propiedades más representativas pueden ser la frecuencia en la que se mide el coeficiente o el espesor del material a comparar.

Según la información desarrollada no es posible establecer una comparación mediante espesores de los materiales trabajados con respecto a la fibra de vidrio. Sin embargo al observar el comportamiento de los coeficientes en la gráfica 4 es posible establecer una medida de comparación. Como muestra la gráfica 4 los valores están dados por frecuencias entre los 250 y 4000 hz, según como se realizó el análisis en el ACV de los PRFV para un panel de poliéster a 1000 hz su coeficiente de absorción es de 0.63 como muestra la gráfica 1, para un panel compuesto con fibra de Kenaf el coeficiente tomo valores según la gráfica 3 de 0.55 y para los compuestos de fibra de coco y de yute según la gráfica 4 valores de 0.3 y 0.87 aproximadamente. A partir de esto es posible obtener la siguiente tabla de valores tabla 6.

Tabla 6 Valores de NRC obtenidos a 1000 Hz de frecuencia

Material compuesto	NRC a 1000 hz de frecuencia
Fibra de vidrio	0,63-0,7
Fibra de Kenaf	0,55
Fibra de Coco	0,3
Fibra de Yute	0,87-0,96

Fuente: Autor

⁹¹ KINNANE, Oliver, et al. Acoustic absorption of hemp-lime construction. En Construction and building materials. [ResearchGate] Vol. 122, p. 676, 2016 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Oliver_Kinnane/publication/305113371_Acoustic_absorption_of_hemp-lime_construction/links/5a034ecc0f7e9b6155c343ed/Acoustic-absorption-of-hemp-lime-construction.pdf

⁹² Ibíd., p. 680-682

4. COMPARACION DE LOS PRFN Y EL PRFV UTILIZANDO METODOLOGIA DEL ESTANDAR P5

Utilizando el estándar P5 se realizar una comparación de cuatro materiales trabajados hasta el momento los cuales son PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio); PRFN compuesto de fibra de Kenaf; PRFN compuesto de fibra de Coco; PRFN compuesto con fibra de Yute.

Según el GPM⁹³ El estándar P5 se define como el estándar P5 de GMP global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. Se basa en cinco principios los cuales son: Personas, planeta, prosperidad, procesos y productos. Dentro de este estándar se evalúan los tres principios de la sostenibilidad desde propuesta de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Los elementos de P5 se vinculan a ODS específicos divididos por secciones como lo son sostenibilidad económica, ambiental y social.

En este proyecto se desarrollará el estándar P5 teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental y algunos criterios de sostenibilidad económica, puesto que se realizara en base a la información desarrollada hasta el momento con el fin de obtener el impacto ambiental de cada material.

Desde la perspectiva de sostenibilidad ambiental el estándar P5 describe:

Que la esfera del medio ambiente de la sostenibilidad se refiere a los impactos que la gestión de portafolios, programas y proyectos tienen sobre los sistemas naturales vivos y no vivos, incluidos la tierra, el aire, el agua y los ecosistemas, así como la conservación de la diversidad de flora y fauna que vive en estos ecosistemas. El medio ambiente es también el lugar en el que las personas viven, y puede consistir en la calle, el barrio, el pueblo o la región.⁹⁴

A partir de esto el P5 determina una categoría de sostenibilidad; sub categorías y elementos, el cuadro 11 muestra la descripción de cada uno de estos términos teniendo en cuenta para este trabajo la categoría de sostenibilidad ambiental y económica, en base a material y producto compuesto como los son los cuatro materiales mencionados anteriormente.

⁹³ GREEN PROJECT MANAGMENT. GPM. El estándar P5 de GMP global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. V 1.5.1 p. 6-7, 2016 [Consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://greenprojectmanagement.org/images/PDF/P5/El%20Est%C3%A1ndar%20P5%20de%20GPM%20Global%20para%20la%20Sostenibilidad%20en%20la%20Direcci%C3%B3n%20de%20Proyectos%20Versi%C3%B3n%201.5.1.pdf>

⁹⁴ Ibíd., p.22

Cuadro 11 Descripción de las categorías de sostenibilidad

Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías		Elementos	
Sostenibilidad económica	Estimulación económica	P5 ve estimulación económica como la estimulación financiera que se produce como resultado de la obtención del material. Las dos medidas son de Impacto Económico Local y beneficios indirectos.	Impacto local económico	Impacto de la economía local como resultado de la implementación del material
			Beneficios indirectos	Los beneficios financieros a la economía que se realicen como consecuencia de la obtencion del material
Sostenibilidad ambiental	Transporte	Esta subcategoría cubre los procesos de proyectos y productos impactos que se relacionan con el transporte y se centra en cuatro áreas: Contratación Local, Comunicación Digital, Viajar y Transporte. Mientras que cada elemento de esta categoría se clasifican en la línea de fondo del medio ambiente, cada uno tiene impactos sociales y económicos importantes que deben tenerse en cuenta cuando teniendo en cuenta el impacto global	Proveedores locales	La política de una organización y procedimiento para la adquisición de bienes y servicios a partir de fuentes locales para reducir el impacto ambiental (también sirve para disminuir negativo social y económico impactos.)
			Comunicación digital	Políticas y procedimientos para utilizar la tecnología para la comunicación de una organización para reducir el consumo de recursos no renovables
			Viajes	La política de una organización que limite los viajes innecesarios y asegura que el uso de recursos para los viajes tienen el menor impacto sobre el medio ambiente como sea posible
			Transporte	La política de una organización en el transporte de mercancías o materiales que garantiza la aspectos logísticos y el embalaje son lo más ecológica posible

Cuadro 11 (continuación)

Sostenibilidad ambiental	Energía	Esta subcategoría cubre los procesos del producto y los impactos de los materiales, se centra en tres áreas principales: la energía utilizada, Emissions/Co2 y cambio a energía limpias.	Energía usada	El tipo y la cantidad de energía que se consume en todo el ciclo de vida del producto
			Emisiones /CO2 por la energía usada	La cantidad de las emisiones de carbono que se emite durante el ciclo de vida del producto
			Retorno de energía limpia	El tipo y la cantidad de energía renovable que se genera por el producto o materiales que puede ser devuelto y re-asignado
	Residuos	Esta subcategoría cubre los procesos del proyecto y los impactos de productos, ya que pertenecen a los residuos durante la extracción de las materias primas, el procesamiento de las materias primas en intermedia y de los productos finales y el consumo de los productos finales y se centra en cinco primaria áreas: Reciclaje, reutilización, energía incorporada y los residuos.	Reciclaje	La política en relación con el suministro y el uso de productos y material reciclado, y la adherencia de los procesos a tener prácticas de reciclaje
			Disposición final	La política impacto de los productos del proyecto al finalizar su ciclo de vida en la sociedad y el medio ambiente
			Reusabilidad	La política de reutilizar los materiales en la creación de nuevos productos y la reutilización del producto al final de su vida
			Energía incorporada	La cantidad de energía procedente de fuentes renovables
			Residuos	Las prácticas con respecto a la eliminación de residuos, el tratamiento de residuos durante el ciclo de vida del producto
	Agua	Esta subcategoría cubre los procesos de productos impactos que se relacionan con el agua y se centra en tres dos áreas principales: Calidad de Agua, Consumo de Agua.	Calidad del agua	El impacto en la calidad del agua que los materiales y otros productos tendrán en los hábitats y las especies afectadas
			Consumo del agua	La cantidad de agua que será consumida por obtención del producto y de los materiales durante su ciclo de vida

Fuente: Autor basado en GPM. El estándar P5 de GMP global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. V 1.5.1 Archivo en PDF.

Como se observa en el cuadro 11 existen cinco subcategorías, cuatro ambientales y una económica las cuales a partir de los siguientes cuadros (12, 13, 14 y 15) se desarrollaran para cada material un PRFV y tres PRFN y determinara su impacto en base al cuadro 16.

Cuadro 12 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 1 PRFV

Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías	Elementos	Material 1 PRFV	Justificación	
Sostenibilidad económica	Estimulación económica	Impacto local económico	0	Zona de fabricación del producto	
		Beneficios indirectos	0	Sin información	
Sostenibilidad ambiental	Energía	Transporte	-1	EL transporte en esta fase involucra transporte de materias primas (resinas y fibras)	
		Energía usada	2	Consumo de energía eléctrica en producción del material	
		Emisiones /CO2 por la energía usada	2	Emisiones durante la producción	
		Retorno de energía limpia	0	Sin información	
	Residuos	Reciclaje	-1	Posibilidad de reciclaje del material	
		Disposición final	2	Disposición o separación de residuos	
		Reusabilidad	2	Posibilidad de aprovechamiento del material luego de su disposición	
		Energía incorporada	2	Energía utilizada en disposición final del producto	
		Residuos	0	Emisión de material particulado al ambiente	
	Agua	Calidad del agua	2	Impacto de emisiones en el agua	
		Consumo del agua	0	Sin información	
			TOTAL	0,91	Impacto negativo bajo

Fuente: Autor

Cuadro 13 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 2 PRFN Kenaf

Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías	Elementos	material 2 PRFN Kenaf	Justificación	
Sostenibilidad económica	Estimulación económica	Impacto local económico	-3	Zona de fabricación del producto	
		Beneficios indirectos	0	Sin información	
Sostenibilidad ambiental	Energía	Transporte	3	El transporte en esta fase involucra transporte de materias primas (resinas y fibras)	
		Energía usada	-1	Consumo de energía eléctrica en producción del material	
		Emisiones /CO2 por la energía usada	-3	Emisiones durante la producción	
		Retorno de energía limpia	0	Sin información	
	Residuos	Reciclaje	-3	Posibilidad de reciclaje del material	
		Disposición final	0	Sin información	
		Reusabilidad	-2	Posibilidad de aprovechamiento del material luego de su disposición	
		Energía incorporada	0	Sin información	
		Residuos	-3	Emisión de material particulado al ambiente	
	Agua	Calidad del agua	-2	Impacto de emisiones en el agua	
		Consumo del agua	0	Sin información	
			TOTAL	-1,75	Impacto positivo bajo

Fuente: Autor

Cuadro 14 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 3 PRFN Coco

Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías	Elementos	material 3 PRFN Coco	Justificación	
Sostenibilidad económica	Estimulación económica	Impacto local económico	-3	Zona de fabricación del producto	
		Beneficios indirectos	0	Sin información	
Sostenibilidad ambiental	Energía	Transporte	-1	El transporte en esta fase involucra transporte de materias primas (resinas y fibras)	
		Energía usada	-1	Consumo de energía eléctrica en producción del material	
		Emisiones /CO2 por la energía usada	-2	Emisiones durante la producción	
		Retorno de energía limpia	0	Sin información	
	Residuos	Reciclaje	-3	Posibilidad de reciclaje del material	
		Disposición final	0	Sin información	
		Reusabilidad	-2	Posibilidad de aprovechamiento del material luego de su disposición	
		Energía incorporada	1	Energía utilizada en disposición final del producto	
		Residuos	-3	Emisión de material particulado al ambiente	
	Agua	Calidad del agua	-1	Impacto de emisiones en el agua	
		Consumo del agua	-1	Agua requerida para obtención del producto	
			TOTAL	-2	Impacto positivo medio

Fuente: Autor

Cuadro 15 Categorías de sostenibilidad evaluadas en Material 4 PRFN Yute

Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías	Elementos	material 4 PRFN Yute	Justificación
Sostenibilidad económica	Estimulación económica	Impacto local económico	-3	Zona de fabricación del producto (India)
		Beneficios indirectos	0	Sin información
Sostenibilidad ambiental	Energía	Transporte	3	EL transporte en esta fase involucra transporte de materias primas (resinas y fibras)
		Energía usada	-1	Consumo de energía eléctrica en producción del material
		Emisiones /CO2 por la energía usada	-3	Emisiones durante la producción
		Retorno de energía limpia	0	Sin información
	Residuos	Reciclaje	-3	Posibilidad de reciclaje del material
		Disposición final	0	Sin información
		Reusabilidad	-3	Posibilidad de aprovechamiento del material luego de su disposición
		Energía incorporada	1	Energía utilizada en disposición final del producto
		Residuos	-3	Emisión de material particulado al ambiente
	Agua	Calidad del agua	-2	Impacto de emisiones en el agua
		Consumo del agua	-3	Agua requerida para obtención del producto
		TOTAL	-2.13	Impacto positivo medio

Fuente: Autor

Cuadro 16 Valoración de impactos

Valoración		Color por impacto
+3	Impacto negativo alto	
+2	Impacto negativo medio	
+1	Impacto negativo bajo	
0	No aplica o Neutral	
-3	Impacto positivo alto	
-2	Impacto positivo medio	
-1	Impacto positivo bajo	

Fuente: Autor basado en GPM. El estándar P5 de GMP global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. V 1.5.1 Archivo en PDF.

4.1 ANALISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES

Según los cuadros (12 al 15) se puede observar un resultado de los impactos positivos y negativos teniendo en cuenta los principios de sostenibilidad ambiental. Estos datos de calificación se obtuvieron a partir del cuadro 16 en donde se observa un impacto positivo medio mayor para el material 4 PRFN compuesto de Yute.

Para la obtención de los datos del material 1 PRFV se utilizó el ACV, en cuanto a los materiales naturales, algunos datos fueron determinados a partir de un análisis de la información descrita para cada material.

4.1.1 Estimulación económica. Los tres materiales naturales generan un impacto positivo económico en la zona local en la cual se realiza la siembra de la planta, por lo tanto se tomaron valores de alto impacto positivo para los tres como menciona García⁹⁵. Sin embargo para los beneficios indirectos se consideró que no existía suficiente información.

4.1.2 Energía. Según Mohanty⁹⁶ para fibras de Kenaf y Yute los medios de fabricación y transporte son similares, sin embargo se consideran como impactos

⁹⁵ GARCIA, Silvia. Op.Cit. p. 28

⁹⁶ MOHANTY, A. y FATIMA, S, Op. Cit. p. 15

negativos ya que son materiales que se pueden obtener específicamente en ciertas zonas como lo son India y China, esto demandaría un consumo mayor energético al momento de ser transportados, por el contrario el coco puede obtenerse en diferentes zonas lo cual disminuye el consumo energético en transporte.

Según Batouli⁹⁷ la energía utilizada en la producción se consideró como un impacto negativo bajo ya que el consumo energético es más bajo para cualquier fibra natural respecto a las fibras de vidrio, sin embargo, se tuvo en cuenta la producción de la resina de tipo poliéster, lo cual incrementa el consumo energético en la producción del material.

Las emisiones de CO₂ se calificaron con un impacto positivo alto para los materiales naturales, ya que a pesar de que la resina puede producir un porcentaje de CO₂, las fibras naturales durante su producción generan emisiones de CO₂ muy bajas, Dahy⁹⁸ y Riveros⁹⁹ argumentan que lo mismo sucede con las emisiones de material particulado.

4.1.3 Residuos. Según Bongarde¹⁰⁰ el Yute tiene la posibilidad de ser reciclado con el fin de obtener derivados para otros productos; así mismo el Kenaf y el coco, sin embargo menciona Akil ¹⁰¹ la reusabilidad de estos materiales, varia debido a que las fibras de Kenaf son más complejas al momento de ser conformadas, lo mismo sucede con las fibras de coco.

La energía incorporada se consideró como un impacto bajo para los tres materiales basado en el ACV de los PRFV y la posibilidad de incorporar energía extra para la separación del material y la resina utilizada.

4.1.4 Agua. Este impacto se evaluó teniendo en cuenta la cantidad de agua requerida para la producción de las fibras naturales, sin embargo se asimilaron datos de impacto positivo ya que no se requieren aguas tratadas o altas cantidades de agua al momento de producir el compuesto, sin embargo pueden llegar a tenerse en cuenta los cuerpos de agua como menciona Bongarde¹⁰² requeridos para la producción de las plantas de fibra natural.

⁹⁷ BATOULI, S y Zhu Y. Op.Cit. p. 382

⁹⁸ DAHY, H. Op. Cit. p. 4-5

⁹⁹ RIVEROS, C. p. 439-440

¹⁰⁰ BONGARDE, U. S.; SHINDE, V. D. Op. Cit. p. 434-435

¹⁰¹ AKIL, H.M et.al. Op. Cit. p. 4109-4110

¹⁰² BONGARDE, U. y SHINDE, V. Op. Cit. p. 435-436

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS: IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN AISLAMIENTO ACUSTICO DE LOS MATERIALES

Según los datos obtenidos en los cuadros 14 y 15 los compuestos de Yute y de coco son unos de los materiales naturales con mayor impacto positivo. Sin embargo el compuesto de fibra de Kenaf posee un impacto positivo cercano al medio, lo cual es significativo ya que los compuestos naturales demuestran estar dentro del rango de sostenibilidad vista desde impactos positivos, sin embargo es necesario para este proyecto tener en cuenta la capacidad de aislamiento acústico con el fin de determinar cuál material es más óptimo en función de su aislamiento acústico, por lo tanto en base al siguiente cuadro 17 se determinaran los resultados de este proyecto.

Cuadro 17 Resultados de análisis de impacto y aislamiento acústico

Material	PRFV	PRFN Kenaf	PRFN Coco	PRFN Yute
Impacto	Bajo negativo	Bajo positivo	Medio Positivo	Medio positivo
Aislamiento acustico	Medio-alto	Medio	Bajo	Alto

Fuente: Autor

Según el análisis de datos el material con mayor aislamiento acústico al ser un compuesto con resina polimérica es el compuesto de Yute, así mismo posee un impacto positivo medio lo cual en cuanto a sus características puede ser evaluado como un reemplazo a la fibra de vidrio en función de su impacto sostenible y su aislamiento acústico se pueden tener en consideración también los siguientes hallazgos:

- El compuesto de fibra de Yute requiere cuerpos de agua para la obtención de la fibra de Yute en ciertas zonas específicas, lo cual incrementa en consumo energético en transporte, sin embargo, a diferencia del PRFV este consumo disminuye en la elaboración del compuesto ya que el peso de las fibras naturales es mucho menor y la obtención previa de la fibra no requiere de procesos de fabricación como si los requiere la fibra de vidrio.
- El compuesto de fibra de Yute es un compuesto natural el cual disminuye tanto emisiones de CO₂ como otro tipo de emisiones producidas durante todo el ciclo de vida de un PRFV.
- Las capacidades acústicas de la fibra de Yute son altas en frecuencias bajas comparadas con las capacidades de los materiales desarrollados en el trabajo, además su coeficiente de absorción acústica se mantiene en altas frecuencias, lo cual es varia en un compuesto con fibra de vidrio.

- No fue posible tener un punto de comparación en términos de espesor, sin embargo se considera que los paneles PRFN compuestos con fibra de Yute pueden llegar a suplir las necesidades de aislamiento acústico que actualmente tienen los paneles de PRFV.
- Los costos de producción de las fibras naturales son muy bajos teniendo en cuenta la tabla 13 ya que el Yute y el Kenaf se incluyen dentro de las fibras de celulosa.

5. CONCLUSIONES

- El aislamiento acústico es un control importante para garantizar la salud de las personas que están sometidas a niveles de ruido que sobrepasan los límites establecidos por la norma. Para ello la industria ha creado diferentes tipos de materiales compuestos que pueden ser fuentes contaminantes a lo largo de todo su ciclo de vida.
- Las especificaciones técnicas de los PRFV son muy variadas de acuerdo con su aplicación prevista, dentro de estas se encuentra su capacidad de absorción acústica la cual depende de un espesor determinado. Sin embargo, también puede depender de la capacidad de su absorción acústica en función de la frecuencia de las ondas sonoras. El valor de espesor trabajado en esta monografía fue de 5 cm y los valores de absorción acústica se obtuvieron para una frecuencia de 1000 hz cuyo valor óptimo de absorción acústica para un PRFV con resina de poliéster fue de 0.63, la cual en términos de absorción se consideró como intermedia.
- Los impactos ambientales más relevantes encontrados para los PRFV utilizando el ACV fueron los siguientes: Cantidad de energía requerida para la producción, uso y eliminación de un panel de PRFV con un peso de 2.44 Kg fue de 104.188 MJ, cantidad de CO₂ emitida al ambiente fue de 5.6 Kg de CO₂ eq., cantidad de Nox fue de 38.18 (g/kg), cantidad de Sox 21.51 (g/kg) donde se consideró que la cantidad de óxidos de nitrógeno y de azufre fueron las emisiones más altas obtenidas en el estudio del ACV.
- Se encontró que los PRFN son un sustituto a base natural para minimizar los impactos ambientales que producen los PRFV, ya que, el impacto ambiental es positivo a lo largo del proceso de producción, uso y eliminación en los tres materiales evaluados Kenaf, Coco y Yute con respecto al PRFV según la metodología estándar P5 utilizada. Para estos materiales, las cantidades de CO₂ y otras emisiones son cercanas a cero, sin tener en cuenta la resina de poliéster. Así mismo, la cantidad de energía requerida para la producción de fibras naturales disminuye considerablemente debido a que no se requieren varios de los procesos utilizados en la producción de las fibras de vidrio.
- Con respecto al aislamiento acústico, los PRFN se pueden catalogar como materiales alternativos a los PRFV ya que su coeficiente de absorción acústica para rangos de frecuencia de 1000 hz varía entre los 0.3 para las fibras de coco y 0.9 para las fibras de Yute, comparado con las fibras de vidrio cuya absorción fue de 0.63.

- De los tres componentes naturales estudiados, kenaf, yute y coco, se determinó que el primero de estos es el que ofrece un mayor impacto positivo ya que tiene mejores propiedades que los otros dos componentes naturales, pues requiere menor uso energético, bajos costos de producción y sus capacidades acústicas son mayores.

6. RECOMENDACIONES

Para una futura investigación se recomienda realizar una comparación en términos de espesores, ya que en el presente documento no fue posible realizar dicha comparación con respecto a los PRFN.

Para futuras investigaciones se recomienda seleccionar una metodología diferente a la utilizada en este trabajo, para evaluar los impactos ambientales con el fin de obtener datos más cuantitativos.

Se recomienda evaluar el aislamiento acústico con una gama más amplia de materiales aislantes a los expuestos en esta monografía.

BIBLIOGRAFIA

AKIL, H.M et.al Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Review. En: Materials and Design [Elsevier] Vol. 32 No. 8, p.4107-4121, Sep. 2011 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306911002639?via%3Dihub>

AZKORRA, G, et. al. Evaluation of Green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. Evaluación de paredes verdes como sistemas para edificaciones pasivas de aislamiento acústico. 2015. En: Applied Acoustics [EbscoHost] p. 46-56. 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X14002333?via%3Dihub>

BATOULI, S y Zhu, Y. Comparative Life-Cycle Assessment Study of Kenaf Fiber-Based and Glass Fiber-Based Structural Insulation Panels. En ICCREM [Google Académico] p. 377-388, 2013. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413135.036>

BELTRAN, N y MARTINEZ, J. Comparación de prototipos de fachadas termoacústicas fabricadas con fibras vegetales para vivienda unifamiliar con fachada de tipo estándar de concreto vaciado. [Repositorio digital] Trabajo de grado. Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. p. 1-76 2017. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15291/1/Trabajo%20de%20Grado%20%20Comparaci%C3%B3n%20de%20prototipos%20de%20fachadas%20termoac%C3%BAsticas%20fabricadas%20con%20fibras%20ve.pdf>

BENDEZÚ, J. H. Los Plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRVF), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional Tesis en En repositorio [Google académico]. Universidad mayor de San Marcos. Lima. Perú. p. 1-132, 2002. [Consultado 2, Octubre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/Bendezu_R_J/T_completo.pdf

BIELAWSKI, R. et al. Investigation of Riveted Joints of Fiberglass Composite Materials. Investigación de juntas de materiales compuestos de fibra de vidrio. En: Mechanics of Composite Materials [SpringerLink] Vol 52 No 2 p. 199-210. 2016 [consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11029-016-9573-4>

CONVENIO DE ASOSIACION No. 124 DE 2015, Guía Técnica para aislamiento acústico y diseño y configuración de sistemas de refuerzo sonoro para establecimientos. [Cali.gov.co]. Cali. Sec.2. 2015 p. 1-59 [Consultado 20,

septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=9178>

BIRON, M. Industrial applications of renewable plastics: Environmental, technological and economic advances. En [Elsevier] Cap. 7 p. 437-460, 2017 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323480659000078>

BONGARDE, U. y SHINDE, V. Review on natural fiber reinforcement polymer composites. En: International Journal of Engineering Science and Innovative Technology [Google Académico] vol. 3, no 2, p. 431-436, 2014 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Serge_Shilko/post/Which_natural_fiber_behavior_is_suitable_for_Polymer_composite_applications/attachment/59d61de779197b807797c2df/AS%3A273844357533696%401442300990099/download/natural+fibers+for+polymer+composites.pdf

CARRASCAL, T, et al. Guía de aplicación del DB HR protección frente al ruido. CTE código técnico de la edificación. Versión V-02. 2014. En Arquitectura Técnica [Google Académico] Madrid. ES. Sec Publicaciones. p.5-334 [Consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/GUIA_DBHR_v02_septiembre_2014.pdf

CASAS, Oscar; VARGAS, Carlos; ERAZO, Juan. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. En: Entramado [Google Académico]. Enero - Junio, vol. 11, nro. 1, 2015 p.264-286. [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106> tomado de ICONTEC 1994

CHEREMISINOFF, N.P. Fiberglass Reinforced Plastics - Fiberglass Arrangement and Forms. En: William Andrew Publishing/Noyes. [Knovel] Fiberglass Reinforced Plastics. Cap. 2 p.130-137 [Consultado en 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt002R9SU3/fiberglass-reinforced/fiberglass-arrangement>

CORBIERE, T., et al. Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics Analisis de ciclo de vida de biofibras reemplazando los PRFV. Elsevier (Resources, Conservation & Recycling) [Google académico] Vol. 33 (4) p. 267-278. [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en PDF Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000891>.

DAHY, H. Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites (NFRP) Fabricated from Lignocellulosic Fibres for Future Sustainable Architectural Applications, Case Studies: Segmented-Shell Construction, Acoustic Panels, and Furniture. En Sensors

[Ebsco Host] Vol 19, p. 738. 2019 [Consultado 20, Septiembre,2019] Artículo en pdf. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail?vid=11&sid=90f83d59-9a9c-4b3c-a9ba-31d772509598%40pdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2I0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=134843684&db=a9h>

DEL REY, Romina, et al. Estudio de la influencia del tipo de fibra y resina en composites como soluciones ligeras para aislamiento acústico. En Proceedings of the 48o Congreso Español De Acústica (Tecniciacústica 2017) y Encuentro Ibérico De Acústica [Google académico] A Coruña, Spain. p. 1-8. 2017. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://ftp.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AED-2_011_02.pdf

DESIDERI U. y ASDRUBALI F. Handbook of Energy Efficiency in Buildings A Life Cycle Approach. Libro [Google Académico]. Cap. 6.2 p. 297-363, 2019 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/B9780128128176000395>.

DURLOCK. Soluciones Durlock® Informes técnicos Marzo. En Durlock [Durlock.com]. p.1-7 [consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://durlock.com.ar/uploads/descargas/c01f4087c45fc5c9325e13a508fff510f1a0c803.pdf>

FUSTINONI, C, et. al. Albumin and hemoglobin adducts as biomarkers of exposure to styrene in fiberglass-reinforced-plastic workers. En: International Archives of Occupational & Environmental Health [LinkSpringer]. Vol 71 p. 35 – 41. [Consultado 20, Septiembre,2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004200050247>

GARCIA, Silvia. Estudio para la industrialización de la fibra de coco en Esmeraldas. Trabajo de Grado [Repositorio digital]. Ingeniera Industrial. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Guayaquil p.1-92, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13414/1/UPS-GT001768.pdf>

GIRALDO, A. Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus Hibiscus cannabinus*, L.). En Temas [Google académico]. Ensayo. p.1-29. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF Disponible en: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0703.pdf>

GNATOWSKI, A., Kijo-Kleczkowska, A., Gołębski, R. y Mirek, K. Analysis of polymeric materials properties changes after addition of reinforcing fibers. En: International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow [Emerald Insight], Vol. 10 Nro. 44 p. 1369-1382. 2019. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2126/insight/content/doi/10.1108/HFF-02-2019-0107/full/html>

GREEN PROJECT MANAGMENT. GPM. El estándar P5 de GMP global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. V 1.5.1 p. 1-42, 2016 [Consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://greenprojectmanagement.org/images/PDF/P5/EI%20Est%C3%A1ndar%20P5%20de%20GPM%20Global%20para%20la%20Sostenibilidad%20en%20la%20Direcci%C3%B3n%20de%20Proyectos%20Versi%C3%B3n%201.5.1.pdf>

ISO .Organización internacional de estandarización, ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. En ISO p. 1-41, 2015 [iso.org]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>

JOSHI, S, et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? En: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing [Elsevier] Vol. 35 No 3, p. 371–376 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X03002951>

KINNANE, Oliver, et al. Acoustic absorption of hemp-lime construction. En Construction and building materials. [ResearchGate] Vol. 122, p. 674-682, 2016 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Oliver_Kinnane/publication/305113371Acousticabsorption_of_hemp-lime_construction/links/5a034ecc0f7e9b6155c343ed/Acoustic-absorption-of-hemp-lime-construction.pdf

KOGEL, Jessica Elzea TRIVEDI, Nikhil C. BARKER, James M. KRUKOWSKI, Stanley T. En [Knovel]. Industrial Minerals and Rocks - Commodities, Markets, and Uses (7th Edition). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). Cap 7 p. 79-94, 2006 [consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMRCMUE1/industrial-minerals-rocks/industrial-minerals-rocks/industrial-minerals-rocks>.

KRUEGER, K., STOKER, A. y GAUSTAD, G. “Alternative” materials in the green building and construction sector: Examples, barriers, and environmental analysis. En: Smart and Sustainable Built Environment [Emerald Insight] Vol. 8 No. 4, p. 270-291. 2018. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en PDF. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SASBE-09-2018-0045/full/html>

LEE L.S. y JAIN. R The role of FRP composites in a sustainable world. En: Clean Technologies and Environmental [SpringerLink] Vol 11, No 3, p. 247. 2009 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-009-0253-0>

LEIVA, H. Análisis de ciclo de vida. En EOI [Google Académico] p.1-43. 2016 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25482/analisis-de-ciclo-de-vida>

LOEWENSTEIN, K.L. The Manufacturing Technology of Continuous Glass. En: [Google Académico] Fibres. Platinum metals rev.1975, 19, 3ed. p. 82-87. 2010 [consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com › pol.1974.130120209>

MADERUELO, R. Investigaciones sobre la aplicabilidad en edificación de materiales acústicos procedentes de la valorización de residuos. Tesis doctoral. [Repositorio digital] Universidad Extremadura España. Facultad de física Aplicada. p. 1-247, 2014 [Consultado 14, Octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://dehesa.unex.es/handle/10662/2283>

MASSOLO, L. Introducción a las herramientas de gestión ambiental. Universidad de la Plata. En Repositorio en línea [Google Académico] Libros de Cátedra. Cap. 4 p.1-192, 2015 [consultado 14, Noviembre, 2019] En PDF Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46750/Documento_completo_.pdf?sequence=1

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0627 (7, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2006.

MOHANTY, A. y FATIMA, S. Noise control using green materials. En Sound and Vibration [Google Académico] Vol. 49, No 2, p. 13-15, 2015 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf Disponible en: http://tsp.techscience.com/uploads/attached/file/20181120/20181120130912_26515.pdf

MYSHKIN, N. y KOVALEV, A. Polymer mechanics and tribology. En: Industrial Lubrication and Tribology [Emerald Insight] Vol. 70 No. 4, p. 764-772. 2018. [Consultado 14, Octubre, 2019] Archivo en pdf [Consultado 14, Octubre, 2019] Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/publication /issn/0036-8792>

PÁEZ, D. Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de la guadua. Tesis. En repositorio en línea [Google Académico] Universidad Nacional de Colombia p.1-65, 2016 [Consultado 20, septiembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/54981/darioalf_onsopaezsoto.2016.pdf

PRé, et al. SimaPro Database Manual. En Methods Library [Google académico]. Cap 7 p. 1-72 Febrero 2019 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2019/02/DatabaseManual Methods.pdf>

REVERB-OUT. Catálogo de materiales de absorción acústica. En ReverbOut [Línea] p.1-19 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en https://www.reverb-out.com › images › Catalogo_Reverb_Out

RIVEROS, C. Evaluación de emisión de Co₂ y energía consumida por procesos del sistema constructivo: Paneles fibrocemento. En Cap&Cua [dialnet] Edición 11 p. 30-38, 2014 [consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://dialnet.Unirioja.es › descarga › artículo>

RODRIGUEZ, Jerly. Análisis del sistema catalítico de la resina de poliéster insaturado para laminación. Trabajo de grado [Repositorio digital] Ingeniería Química. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química de p.1-86. [Consultado 14, Noviembre, 2019] Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1980/AN%C3%81LISIS%20DEL%20SISTEMA%20CATAL%C3%8DTICO%20DE%20LA%20RESINA%20DE%20POLI%C3%89STER%20INSATURADO%20PARA%20LAMINACION.pdf?sequence=1>

SANJAY, M, et. al. Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. En: Natural resources [researchgate] Vol. 7, p. 108-114, 2016 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sanjay_M_R/publication/297895894_Applications_of_Natural_Fibers_and_Its_Composites_An_Overview/links/56e771a108ae438aab88372b.pdf

SANJAY, M. y YOGESHA, B. Studies on Natural/Glass Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites: An Evolution. En: Materials Today: Proceedings [ScienceDirect] Vol. 4 No 2 p. 2739-2747 [Consultado 14, Octubre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317303516>

THAKUR, V. y Thakur, M. Processing and Characterization of Natural Cellulose Fibers/Thermoset Polymer Composites. En Carbohydrate Polymers [Elsevier] Vol 102-117. 2018 [Consultado 14, Noviembre, 2019] Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714002719?via3Dihub>.

TREJOS, Juan. Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con fibra de vidrio. [Repositorio Digital] Trabajo de grado. Ingeniero mecánico. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. p. 1-116, 2014 [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7f52/5d97b10b642a7db7e722b10311ccf5cf13e1.pdf>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental noise Guidelines for Europe. Executive summary.2018 [En Línea] p. 1-4 [Consultado 20, septiembre, 2019] Archivo en PDF Disponible en: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/383922/noise-guidelines-exec-sum-eng.pdf

YANAR, H., AYAR, H., Demirtas, M. y PURCEK, G. Effect of resin content on tribological behavior of brake pad composite material. En: Industrial Lubrication and Tribology [Emerald Insight] Vol 1, nro 3, p. 4 Sunderland University. 2018 [Consultado 14, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ILT-05-2018-0171/full/html>