

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE CAMISETAS
POSCONSUMO CON BASE EN POLIÉSTER PARA ELABORACIÓN DE AISLANTE
TÉRMICO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

DARLYNG KARELY ORTIZ VEGA
HERNAN DAVID MARTINEZ ARIAS

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
DANY JOSE CARDENAS ROMAY
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del director

Firma del presidente del jurado

Nombre

Firma del jurado

Nombre

Firma del jurado

Bogotá D.C. Febrero del 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. Jose Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

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.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 Industria Textil	19
1.2 Residuos	19
1.3 Residuos pre-consumo	20
1.4 Residuos posconsumo	20
1.5 Camiseta Posconsumo	20
1.6 Fibra Textil	20
1.6.1 <i>Clasificación de las fibras textiles</i>	20
1.7 Poliéster	21
1.7.1 <i>Poliéster textil</i>	22
1.7.2 <i>Pretratamiento de las fibras de poliéster</i>	22
1.8 Tejidos textiles	23
1.8.1 <i>Tipos de tejidos textiles</i>	23
1.8.2 <i>Tejidos planos</i>	23
1.8.3 <i>Tejidos de punto</i>	25
1.9 Colorantes	25
1.9.1 <i>Tipos de colorantes</i>	25
1.9.2 <i>Métodos de coloración</i>	27
1.9.3 <i>Agotamiento</i>	27
1.9.4 <i>Impregnación</i>	27
1.9.5 <i>Clasificación de los colorantes textiles según la fibra seleccionada</i>	27
1.10 Aislantes	28
1.10.1 <i>Utilización de los aislantes</i>	28
1.10.2 <i>Tipo de aislantes</i>	29
1.11 Propiedades de los aislantes	30
1.11.1 <i>Propiedades mecánicas</i>	30
1.11.2 <i>Propiedades físicas</i>	30
1.11.3 <i>Propiedades químicas</i>	30

1.12 Variables del proceso	30
1.12.1 <i>Propiedades de los aislantes</i>	30
1.12.2 <i>Conducción</i>	31
1.12.3 <i>Convección</i>	32
1.12.4 <i>Radiación</i>	32
1.12.5 <i>Conductividad térmica</i>	32
1.12.6 <i>Aislamiento térmico</i>	35
1.12.7 <i>Temperatura</i>	35
1.12.8 <i>Humedad</i>	36
2. MATRIZ DE SELECCIÓN	38
2.1 Técnicas para la toma de decisión multicriterio	38
2.1.1 <i>Método PUGH</i>	38
2.1.2 <i>Método AHP</i>	39
2.1.3 <i>Método VIKOR</i>	40
2.1.4 <i>Método de sumas ponderadas</i>	43
2.2 Elección de la técnica de decisión multicriterio	44
2.3 Criterios de evaluación	44
2.4 Alternativas a evaluar	49
3. DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO	54
3.1 Extracción del material camisetas posconsumo de poliéster	54
3.2 Materia prima	55
3.3 Descripción del proceso	57
3.3.1 <i>Pretratamiento de las fibras textiles</i>	58
3.3.2 <i>Trituración</i>	58
3.3.3 <i>Desfibrado</i>	58
3.3.4 <i>Selección</i>	59
3.3.5 <i>Mezclado</i>	59
3.3.6 <i>Lavado</i>	60
3.3.7 <i>Secado</i>	61
3.4 Elaboración de aislante térmico	61
3.4.1 <i>Moldeado</i>	61
3.4.2 <i>Prensado</i>	61
3.4.3 <i>Cortado</i>	62
3.4.4 <i>Mecanizado</i>	62

3.5 Descripción del producto final	62
3.6 Usos del aislante obtenido	62
3.7 Equipos	63
3.7.1 Trituradora tradicional	63
3.7.2 Desfibrador	64
3.7.3 Mezclador	64
3.7.4 Lavado	65
3.7.5 Secado	66
3.7.6 Prensado	67
3.7.7 Cortado	68
3.8 Desarrollo de la propuesta de diseño del proceso	69
3.9 Balance de materia	70
3.10 Consumo energético	74
4 COMPARACIÓN DE AISLANTE DE POLIÉSTER Y AISLANTE DE FIBRA DE VIDRIO	75
4.1 Propiedades mecánicas	75
4.2 Conductividad térmica	76
5. CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFIA	
ANEXO	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama clasificación fibras textiles	21
Figura 2 Estructura tejido plano	24
Figura 3 Estructura tejido plano	24
Figura 4 Estructura tejido de punto	25
Figura 5 Estructura del aislante fibra cerámica	28
Figura 6 Métodos de transferencia de calor	31
Figura 7 Estructura de la conducción térmica en un aislante	34
Figura 8 Base de la matriz de PUGH	39
Figura 9 Estructura jerárquica general del método AHP	40
Figura 10 Diagrama BFD proceso elaboración aislante térmico	58
Figura 11 Maquina trituradora de residuos textiles	63
Figura 12 Maquina trituradora de residuos textiles de doble eje	64
Figura 13 Mezclador agitador de tanque	65
Figura 14 Tanque de lavado	66
Figura 15 Secador de tambor rotatorio	67
Figura 16 Prensa hidráulica	68
Figura 17 Cortador de aislante térmico	69
Figura 18 Diagrama PFD proceso elaboración aislante térmico	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tiempo típico de descomposición o degradación por prenda o fibra textil	15
Tabla 2 Lista de colorantes	26
Tabla 3 Tipo de colorante según la fibra	27
Tabla 4 Valores de clasificación de criterios	46
Tabla 5 Comparación de criterios por pares	46
Tabla 6 Jerarquía de los criterios de selección	47
Tabla 7 Cualificación de algunos criterios a evaluar	48
Tabla 8 Matriz de selección: método VIKOR mejores y peores resultados	50
Tabla 9 Matriz de selección: método VIKOR estandarización de los resultados en base al peso del criterio	51
Tabla 10 Matriz de selección: método VIKOR obtención de utilidad S_j , arrepentimiento R_j	51
Tabla 11 Índice de menor a mayor Q_j	52
Tabla 12 Composición macroscópica de residuos en la ciudad de Bogotá D.C	54
Tabla 13 Porcentaje de residuos generados por localidad en la ciudad de Bogotá D.C	56
Tabla 14 Porcentaje de residuos generados por localidad en la ciudad de Bogotá D.C	57
Tabla 15 Balance de masa del proceso	71
Tabla 16 Consumo energético del proceso	74
Tabla 17 Propiedades físicas y mecánicas del poliéster y la fibra de vidrio	75
Tabla 18 Conductividad térmica del poliéster y la fibra de vidrio	76
Tabla 19 Precio de los equipos	85
Tabla 20 Precio de la materia prima	86
Tabla 21 Nomina del empleado para el proceso de elaboración de aislante térmico	87
Tabla 22 Costo mensual para elaboración de aislante térmico	88
Tabla 23 Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de residuos textiles	89
Tabla 24 Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de doble eje	90
Tabla 25 Ficha técnica y especificaciones del tanque mezclador	91
Tabla 26 Ficha técnica y especificaciones del tanque lavador	92
Tabla 27 Ficha técnica y especificaciones del secador rotatorio	93
Tabla 28 Ficha técnica y especificaciones de prensa hidráulica	94
Tabla 29 Ficha técnica y especificaciones de secador rotativo	95

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

EPA	United States Environ Mental Protection Agency
M ³	Metros Cúbicos
PIB	Producto Interno Bruto
°C	Temperatura en Grados Centígrados
K(λ)	Coeficiente de conductividad térmica
L	Espesor
A	Área
Q	Calor
T ₁ -T ₂	Temperaturas
S _j	Valores de utilidad
R _j	Valores del arrepentimiento
Q _j	Importancia relativa de una alternativa
M _i	Calificación ponderada de la alternativa i
A _{ij}	Calificación de la alternativa i en el criterio j
W _j	Peso de ponderación del criterio j

RESUMEN

En el presente trabajo de grado, se desarrolla una propuesta de diseño de aislante térmico con base en camisetas posconsumo de poliéster con el fin de mitigar los impactos ambientales ocasionados por los residuos textiles.

Para empezar, se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar la cantidad de residuos posconsumo que se estaban generando en la ciudad de Bogotá, adicionalmente la información encontrada permitió evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales que estos residuos estaban generando.

En consecuencia de lo comentado, se determinó el material que utilizamos para la elaboración del aislante térmico, se inició con una búsqueda detallada de materiales y su tiempo de degradación sin dejar de lado el impacto ambiental que estos generaban dando como resultado final el poliéster, dentro de este orden de ideas se desarrolló la caracterización del poliéster para comprender las propiedades fisicoquímicas que presentaba el material como por ejemplo su resistencia, conductividad térmica, punto de fusión, tenacidad, resistencia a la abrasión entre otros.

Posteriormente, se efectuó la selección del método más adecuado para la elaboración del aislante térmico. Comenzamos con un estudio de las publicaciones que podría haber sobre los aislantes en el mundo, pero más concretamente sobre su elaboración; como material de apoyo nos basamos en tesis y artículos, específicamente la metodología que aplicó el autor en su trabajo de grado desarrollo de aislantes térmicos empleando rastrojos de maíz para la construcción de viviendas, elaborado por Felipe Eduardo Loyola Lavin en la Universidad Del Bío – Bío, donde se evaluó la elaboración de un aislante térmico empleando los residuos, asimismo nos apoyamos del artículo desarrollo de una aislante térmico en base a fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en las viviendas de la sierra sur del Perú realizado por Peña O, Román R y Quispe Grimaldo en la Escuela de Ingeniería Industrial Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), en la cual desarrollaron y diseñaron un modelo de fabricación de aislante térmico, de esta forma teniendo en cuenta los componentes que se utilizaron y los procesos que se desarrollaron llegamos a la mejor metodología para nuestro proyecto, el triturado,

pretratamiento, entre otros, así mismo se elaboraron los diagramas pertinentes con la propuesta de diseño del proceso final.

Finalmente se obtuvo teóricamente el aislante térmico y a continuación se llevó a cabo un análisis de costo beneficio el cual indico los costos de los equipos, la mano de obra, obtención del material y si la implementación del aislante con respecto a la fibra de vidrio tuvo impactos positivos a la hora de retener el calor.

Dicho esto, cabe destacar que la implementación del aislante de poliéster si tenía impactos positivos cuando se hablaba de retener el calor, puesto que, cuando se observó la conductividad térmica del poliéster y la fibra de vidrio presentaban propiedades similares que eran propias de un material aislante, por tanto, mostraban confort térmico, efecto inmediato, larga duración y protección ante la humedad.

Palabras clave: Transformación de camisetas posconsumo, aislante térmico, pretratamiento de las fibras textiles, matriz de decisión, costos y beneficios, calor, conductividad térmica.

INTRODUCCIÓN

Un aislante térmico maneja propiedades como la conductividad, permeabilidad y densidad aparente, que los hace únicos en la industria; los aislantes térmicos son materiales que sirven para retener energía en forma de calor que se emite por conducción, es decir establece una pared que impide el paso de temperatura entre dos medios.

Teniendo en cuenta que las industrias textiles generan residuos en sus procesos y que además en muchas ocasiones las prendas usadas son desechadas sin ningún tratamiento, la propuesta de un aislante térmico elaborado con estos desperdicios se encuentra dirigida a laboratorios, plantas industriales, almacenes, bodegas, entre otros, donde pueden ser aprovechados para reducir la transmisión de calor a través de la organización sobre la que se instala, favoreciendo también la seguridad de las personas y bienes donde sea utilizado, ambientalmente ayuda a reducir la contaminación y el efecto invernadero.

Así mismo, el diseño beneficiara la ciudad de Bogotá el cual se ha venido afectando con relación a las condiciones ambientales y de salud, como un ejemplo de esto está la calidad del aire, que muchas veces se ve alterada por las emisiones toxicas atmosféricas generadas por dichos residuos en reposo, en consecuencia, la transmisión de enfermedades respiratorias aumenta en la población más vulnerable como los niños, ancianos y mujeres embarazadas que se encuentran aledañas al lugar de exposición.

Por otro lado, para prevenir que se sigan propagando más residuos y de esta forma más impactos ambientales se hace necesario el diseño y elaboración de un aislante térmico por medio transformaciones fisicoquímicas que ayudaran a darles valor agregado a dichos desperdicios y de esta forma mantener controlada la generación de residuos posconsumo y emisiones diarias.

Es por esto por lo que el presente trabajo de grado plantea un diseño metodológico con base en cuatro objetivos específicos, cada uno con sus respectivas tareas que permitan la culminación del proyecto y respectiva elaboración del aislante térmico, llevando a buen término el propósito general del trabajo de grado dentro del tiempo establecido.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector textil es conocido como uno de los más importantes a nivel nacional e internacional debido a su alta participación a la hora de confeccionar, producir y manejar material como, por ejemplo, las fibras, los hilos, telas, entre otros, la industria adicionalmente se posiciona en el mercado financiero para poder importar y exportar productos textiles a diferentes partes del mundo.

La industria manufacturera es tan grande que precisamente abarca varios aspectos e impactos ambientales como la contaminación de medios acuáticos, terrestres, atmosféricos entre otros, que se ocasionan debido a la acumulación de residuos durante el proceso de producción o aquellos que se aglomeran al cumplir su vida útil.

Los principales generadores de residuos textiles, como lo menciona la Agencia de Protección Ambiental De Estados Unidos (EPA) en el informe Textiles Material – Specific Data es la ropa desechada, seguidamente de otras fuentes existentes como las alfombras, muebles, llantas, calzado y otros bienes no duraderos como sábanas y toallas, que son despreciados por los consumidores y generan alteraciones ambientales [1].

Pese a esto, los residuos textiles han venido incrementado en todo el mundo durante el pasar de los años ya que investigaciones realizadas por un grupo de estudiantes de la universidad nacional demuestran que el 95% de la población de Colombia no aprovecha los residuos textiles, lo que representa una carga para el relleno sanitario de 318 toneladas, provocando que la industria sea uno de los sectores más contaminantes y productores de residuos sólidos [2].

A su vez estos residuos, como lo menciona Aristizábal, Rincón y Lesmes al finalizar su vida útil comienzan el proceso de descomposición o degradación, acción por la cual una prenda o un residuo textil puede durar meses o años en poder volatilizarse, en la (tabla 1) se observa el tiempo que tarda la descomposición o degradación de las prendas o fibras que no son reutilizadas y son dejadas a disposición [3].

Tabla 1

Tiempo típico de descomposición o degradación por prenda o fibra textil

<i>PRENDAS O FIBRAS</i>	<i>TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN O DEGRADACIÓN</i>
Algodón	1 Semana – 5 Meses
Poliéster	100 a más de 200 años
Lycra	20 a 200 años
Denim (Chaquetas o jeans)	10 a 12 meses
Nylon	30 a 40 años
Otros	1 a 60 años

Nota. Esta tabla representa una adaptación de las prendas o fibras respecto al tiempo que tardan en descomponerse o degradarse. Tomado de: Convicciones “El impacto ambiental que genera el proceso Denim”, [En línea]. Disponible: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/convicciones/articulo/view/595/597> [Acceso: sep.01,2021].

Como se puede evidenciar en la tabla 1, la fibra de poliéster es uno de los materiales que más tarda en degradarse, comprendiendo un periodo de tiempo que va de los 100 a los 200 años en adelante para lograr reducir el cuerpo de la prenda o retal y transformarse en partículas microscópicas.

Durante este periodo de tiempo, Garcia afirma que estos residuos pueden llegar a medios acuáticos como ríos, lagos o incluso el mar, generando un daño ambiental bastante longevo, ya que como se había mencionado anteriormente, muchas de las prendas y retales textiles se realizan con base en poliéster proveniente del petróleo, por tanto, en su proceso de degradación se generan subproductos nocivos como metales y sales minerales que se suspenden en el agua y de esta forma ocasionan muerte de cetáceos o plantas acuáticas [4].

Adicionalmente la industria textil, se caracteriza por utilizar altos consumos de agua en sus procesos, un ejemplo de esto es el teñido de las prendas, el cual se consume del

5a 20% del agua disponible, es decir 120 m^3 por una tonelada de fibras, así mismo se consume también un millón de toneladas de colorantes y siete millones de químicos para procesamiento textil/Año, que luego por medio de las aguas residuales generadas llegan también a los medios acuáticos [5].

Por otro lado, también aparece la intoxicación de medios terrestres o del suelo, que se manifiesta por filtración de agua contaminada proveniente de vertimientos, de igual manera metales y sales que a su vez provocan desbalance de nutrientes y pérdida de fertilidad [6].

Del mismo modo la contaminación atmosférica, Cárdenas menciona que es originada por la industria textil en su proceso productivo, donde se evidencian gases y vapores provenientes de compuestos orgánicos volátiles que se desprenden de actividades como, el descruce con solventes, el lavado, el teñido y el estampado, de igual forma la contaminación se puede observar en los equipos como por ejemplo las calderas para la generación de vapor, que producen material particulado cuando se emplean combustibles como carbón o ACPM [6].

En relación con este tema, Garcia plantea que el poliéster al encontrarse expuesto al sol y al agua, libera de forma indirecta partículas de dióxido de carbono provocando gases de efecto invernadero que luego son almacenadas en la capa de ozono, ocasionando el deterioro y por tanto calentamiento global al pasar los años [4].

Dentro de este marco, también se pueden identificar otros impactos ambientales que deja la industria textil y sus residuos, tales como, malos olores, roedores e inclusive vectores que transmiten enfermedades de un huésped a otro, afectando la comunidad aledaña que tiene una relación estrecha con su medio natural y se beneficia directamente de sus servicios, por ejemplo, comunidades agricultoras, cazadores, nativos, etc. [6].

Por consiguiente, la industria textil presenta mayor impacto ambiental que otros sectores, por lo que se tiene un reto importante basado en la merma de dichas afectaciones donde buscar alternativas que ayuden con el objetivo, serán de vital importancia para que el ciclo de vida de un producto sea lo más acertado posible.

En este sentido el mundo está cada vez más preocupado por los costos medioambientales y sociales de la moda, en particular los artículos que tienen una vida útil corta, por esta razón se comprende que la industria textil, debe empezar a involucrar cambios en el modelo productivo y de consumo, aplicar economía circular que está basada en conceptos como valorización, reciclaje y reutilización [7].

Adicionalmente los consumidores deben dejar de lado las tendencias ya que estas se encargan de impulsar rápidamente nuevos productos por medio de celebridades o desfiles de moda, provocando en el cliente iniciativa por querer adquirir el último estilo lo antes posible; por consiguiente la industria empieza a moverse en el mercado dejando sus prendas asequibles a través de tiendas o distribuidores minoristas igualmente se somete a realizar todo tipo de eventos que involucren la atención, dejando despilfarros masivos y muchos artículos con una vida útil corta [8].

De esta forma no solo se debe comprar y desechar, existen más alternativas como el lavado y cuidado de las prendas para que sean más sostenibles y garanticen un tiempo de vida más prolongado, asimismo las empresas pueden ofrecer servicios de devolución o reparación de los productos que se adquieren, asumiendo la responsabilidad de la vida futura de sus prendas [8].

Finalmente, la reutilización, el reciclaje y la refabricación juegan un papel importante, gracias a estos términos, los impactos ambientales se reducen significativamente asimismo el consumo de recursos naturales como el agua es menor y si se observa detalladamente se protegen las personas más vulnerables y el planeta por medio de la donación de prendas o elaboración de nuevos productos que generen modelos de fabricación sostenibles.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el proceso de transformación de camisetas posconsumo con base en poliéster para la elaboración de un aislante térmico en la ciudad de Bogotá D.C.

Objetivos específicos

- Caracterizar los aspectos técnicos de las camisetas posconsumo con base en poliéster.
- Estandarizar los diferentes procesos de separación del poliéster.
- Diseñar los diagramas que permiten el proceso de producción de un aislante térmico.
- Comparar el aislante obtenido de las camisetas posconsumo con la fibra de vidrio respecto a su capacidad para contener el calor.

1. GENERALIDADES

1.1 Industria Textil

La industria textil empezó hace años con microempresas y talleres textiles de familias, donde prevalecía el emprendimiento, la unión familiar, la poca economía y sobre todo la poca tecnología que empleaban, a medida que pasaron los años, la industria textil se fortalecía y destacaba cada vez más por su rápido crecimiento, teniendo un desarrollo importante a nivel nacional y mundial [9].

Así mismo esta industria se fue metiendo en los primeros lugares, considerándose una de las “actividades más antiguas e influyentes en la expansión industrial del país por sus grandes contribuciones en el empleo, la modernización, la tecnología y la economía en general dentro del mercado colombiano” [10] tanto así que para el año 2014 la industria se ubicó en un porcentaje de 3% dentro del PIB nacional y 7,5% del PIB manufacturero [11]. Por su parte en el artículo de Francelina Rodríguez, expone que para el año 2019 la industria presentó un crecimiento dentro del PIB manufacturero con 3.2%, apropiándose de la décima posición entre otras actividades económicas [12], se espera que para el año 2025 el incremento de confección de prendas a grandes escalas sea del 85% [13], lo que conlleve a que las nuevas generaciones transformen los residuos textiles y le den valor agregado, para así poder incursionar en nuevas industrias como por ejemplo, la construcción, la farmacéutica, la moda, entre otros y de esta manera la oferta de empleo en Colombia aumente.

Por otro lado, en la industria textil existen varios tipos de residuos tales como retales, calzado, hogar y residuos posconsumo que generan contaminación ambiental y no tienen uso [14].

1.2 Residuos

Por su parte, Osorio comunica que los residuos son toda actividad relacionada con el consumo de materias primas constitutivas de la industria textil, que al finalizar su vida útil son desechados en diferentes partes como alcantarillados, vertederos y aguas superficiales que se ven afectadas por los componentes de estos [15].

1.3 Residuos pre-consumo

Son aquellos restos que se obtienen en la producción de prendas y son más conocidos como retazos o desperdicios, estos se caracterizan porque no han sido utilizados por el consumidor, por ende, no tiene un desgaste considerable en su textura [16].

1.4 Residuos posconsumo

Aquellos productos que el consumidor ya no necesita y requiere desechar, provocando el tiempo de vida corto para una prenda o textil como por ejemplo camisetas, jeans, chaquetas, entre otros [16].

1.5 Camiseta Posconsumo

Material textil o prenda que una vez se daña o es usada por los consumidores, posteriormente se desecha, por consiguiente, se convierte en residuo sólido que tiene el potencial de ser reciclado, aprovechado o valorado por personas o empresas que requieran transformarlo.

1.6 Fibra Textil

“Una fibra textil según Enric Carrera, es un sólido de estructura más o menos cilíndrica, macroscópicamente homogénea, caracterizada por su flexibilidad, pequeña sección transversal y una elevada relación longitud/grosor. Se utiliza como materia prima para obtener materiales textiles” [1].

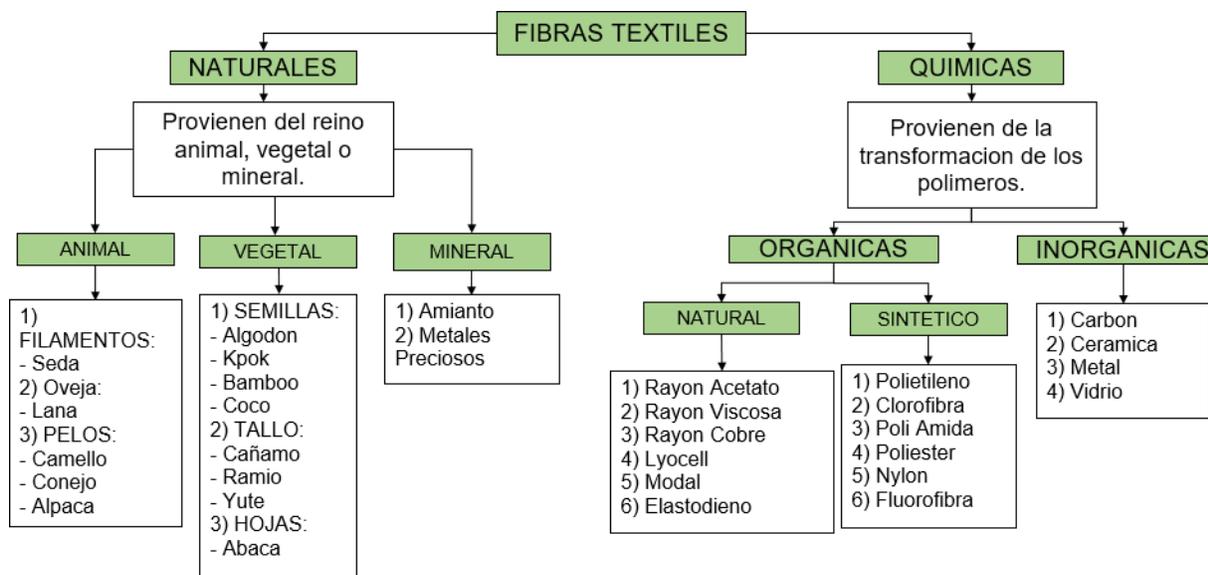
1.6.1 Clasificación de las fibras textiles

- Químicas
- Naturales

A continuación, se expone un esquema (figura 1) sobre la clasificación de las principales fibras textiles, esto con el fin de identificar de donde proviene el poliéster.

Figura 1.

Diagrama clasificación fibras textiles



Nota. La figura representa una adaptación de la clasificación específica de las fibras textiles. Tomado de: E.C. Gallissà., Física textil: propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles., Libro., Sección de Ingeniería textil del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería metalúrgica, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Brasil, 2017-06-23. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/2117/106313>

1.7 Poliéster

El término poliéster proviene del nombre “Terylene” desarrollada en 1941, se define como aquel polímero que presenta en su estructura el compuesto orgánico éster repetidamente. Son obtenidos a partir de reacciones de policondensación entre ácidos y alcoholes [2].

Es la fibra sintética más utilizada en el mundo, a menudo constituye gran parte en la industria del plástico debido a las excelentes propiedades y su gran variedad de aplicaciones, adicionalmente la mezcla de poliéster con otras fibras puede reducir las arrugas, suavizar el tacto y conseguir que el tejido se seque rápidamente [3].

1.7.1 *Poliéster textil*

El poliéster textil es aquel derivado del petróleo, que se encuentra en las diferentes prendas como, camisetas, jeans, chaquetas entre otros y presenta ventajas como:

- Facilidad en el lavado.
- No se encoge ni se estira.
- Se puede mezclar con otro tipo de materiales tales como el nylon, algodón, viscosa o rayón para dar origen a tejidos de mayor calidad.
- Es resistente contra el moho, las polillas e insectos.
- No es necesario su planchado.
- Es fácil al teñido.
- Presenta buenas propiedades mecánicas.

Sus desventajas son:

- El consumo de agua en su fabricación es excesivo.
- Presenta afinidad a la grasa.
- Tiene una fuerte carga electrostática [4].
- Tendencia al pilling [4].
- Es proveniente del petróleo.
- Genera grandes impactos ambientales.
- Se descompone en un periodo de tiempo muy largo.

1.7.2 *Pretratamiento de las fibras de poliéster*

Se define como el proceso por el cual las camisetas posconsumo deben someterse a cambios significativos que mejoren las condiciones físicas, químicas y mecánicas del material para posteriormente elaborar el aislante térmico, la metodología y cada una de las etapas fueron planteadas a partir de la búsqueda.

En una primera fase debe realizarse una trituración, que ayude a reducir el tamaño de las camisetas en retazos más pequeños, posteriormente se realiza el desfibrado el cual ayudara en la obtención de fibras largas y heterogéneas en cuanto a su longitud y grosor, luego se seleccionaran aquellas que se encuentren homogéneas y delgadas [17].

Una vez seleccionadas, con el propósito de retirar impurezas y lograr un mejor acoplamiento del material estas serán sometidas a un tratamiento químico con ácido fosfórico al 85% con el fin de mejorar la separación y las propiedades mecánicas [14], como la dureza que ayuda a determinar lo estable que es el material aislante, su resistencia que permite evaluar el estado y la calidad del aislamiento.

Por otra parte, el silano y los peróxidos se incluirán en la mezcla ya que estos ayudaran a mejorar el rendimiento, la repelencia al agua, el endurecimiento, entre otros; asimismo se lavaran con agua destilada y pasaran al horno a una temperatura de 105 °C para ser secados [18].

1.8 Tejidos textiles

Son aquellos conocidos comúnmente como telas, que se obtienen al entrecruzar o enlazar hilos o fibras, para dar forma o textura al material como la elasticidad, suavidad, brillo y rigidez.

1.8.1 Tipos de tejidos textiles

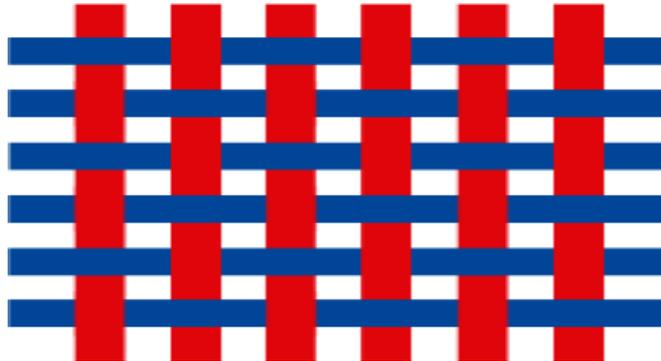
Se dividen en dos, de plano y de punto, el primero se compone de hilos entrelazados en ángulos rectos, en cuanto a los segundos se caracterizan por tener un entrelazado en forma de malla, a diferencia del anterior este se compone de un único hilo largo.

1.8.2 Tejidos planos

Se definen como “aquellos tejidos que poseen en su estructura dos series de hilos, una longitudinal URDIMBRE y otra transversal llamada TRAMA, ambas series de hilos se entrecruzan en un ángulo de 90°” [19], esto se evidencia en las (figuras 2 y 3) donde se detalla mejor la estructura.

Figura 2.

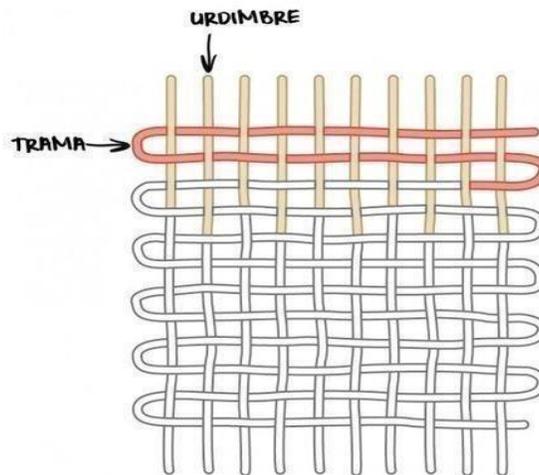
Estructura tejido plano



Nota. La figura representa la forma del tejido plano de manera sencilla. Tomado de: Lafayette, “Conoces los tipos de tejido existentes”, [En Línea]. Disponible: <https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/> [Acceso: Sep.22,2021]

Figura 3.

Estructura tejido plano



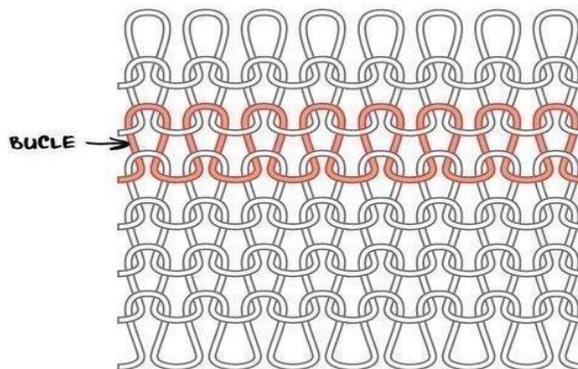
Nota. La figura representa la estructura detallada de un tejido plano textil identificando la trama en sentido horizontal y la urdimbre en sentido vertical. Tomado de: Pinterest “Entendiendo el tejido: estructura”, [En línea]. Disponible: <https://co.pinterest.com/pin/273241902381351129/> [Acceso: Agosto, 27, 2021]

1.8.3 Tejidos de punto

Son aquellos, que se componen “por hilos de trama o urdimbre, o por ambos a la vez, pero formando siempre unos bucles especiales llamados PUNTOS o MALLAS” [19], en la figura 4 podemos observar la estructura del tejido.

Figura 4.

Estructura tejido de punto



Nota. La figura representa la estructura detallada de un tejido de punto textil. Tomado de: Pinterest “Entendiendo el tejido: estructura”, [En línea]. Disponible: <https://www.pinterest.es/pin/188517934377891852/> [Acceso: Agosto, 27, 2021]

1.9 Colorantes

Se define como la sustancia química que se impregna en una tela, tinta y productos alimenticios. Cada colorante será seleccionado conforme a su uso final [20].

“La utilidad de un colorante para un uso particular es gobernada por: tamaño molecular, grupos solubilizantes, grupos aceptores de protones, longitud de la cadena y grupos alquilo” [19].

1.9.1 Tipos de colorantes

Los colorantes se clasifican según su estructura química, en la (tabla 2) podemos observar con mayor detalle los diferentes colorantes, de la siguiente forma:

Tabla 2*Lista de colorantes*

<i>FAMILIAS</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
Azoicos	En la industria textil este grupo es uno de los más importantes ya que representa el 70% de producción total, se caracterizan por ser vivos como por ejemplo el color anaranjado o amarillo [21].
Antraquinonas	Son originarios del antraceno compuestas por quinonas tricíclicas que generalmente tienen más de un grupo hidroxilo [21].
Ftalocianina	Están constituidos por la fusión de cuatro grupos isoindol a través de cuatro átomos de nitrógeno, formando un anillo de 16 átomos [21].
Ion arilcarbonio	Su estructura química está conformada por un átomo carbonilo unido a dos o tres anillos aromáticos [21].
Sulfuro	Grupo de colorantes, solubilizables por reducción, estos colorantes proporcionan una escala de colores tenues [21].
Polimetino	Se clasifican pertenecer al grupo neutro, catiónico y aniónico, representa en su estructura un grupo donador [21].
Nitro	Son un grupo de colorantes incoloros cuando se encuentran aislados. Su absorción se encuentra relativamente cerca al campo visible por mezcla de grupos auxocromos débiles, adquiriendo una tonalidad de manera amarillenta en su composición [21].

Nota. Esta tabla muestra la descripción de diferentes tipos de colorantes, los más utilizados en la industria textil. Tomado de: Revista de la facultad de ciencias químicas “Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión”, [En línea]. Disponible: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216> [Acceso: sep.01,2021].

1.9.2 Métodos de coloración

Se establecen por el tipo de tela que se va a trabajar y existen diferentes tipos de coloración en una prenda o tela textil, uno por agotamiento y otro por impregnación.

1.9.3 Agotamiento

Se define como el proceso discontinuo por el cual la acción mecánica actúa sobre el material textil saturando y fijando el colorante a las fibras [19].

1.9.4 Impregnación

Se define como el proceso continuo por el que una tela debe pasar, es decir, empieza en el lavado donde el color se pega a la materia y posteriormente este pasa por un calentamiento que permitirá la fijación del colorante que se necesite [19].

1.9.5 Clasificación de los colorantes textiles según la fibra seleccionada

En la industria textil existen diversos tipos de fibras, a las cuales se aplican diferentes métodos de teñido por su capacidad y grado de fijación de los colorantes, en la (tabla 3) se puede observar lo anteriormente dicho.

Tabla 3

Tipo de colorante según la fibra

<i>TIPO</i>	<i>FIBRA TEXTIL</i>
REACTIVOS	Algodón, lana, seda y nylon
DIRECTOS	Algodón, rayón y nylon
DISPERSOS	Poliéster, poliamida, acetato, acrílico y Plásticos

Nota. Esta tabla muestra la adaptación de los métodos de coloración que se aplicana cada fibra textil. Tomado de:Universidad Central Caracas Venezuela “Introducción a la Química de los Colorantes”, [En línea].Disponible: <http://saber.ucv.ve/handle/10872/19390> [Acceso: Sep.08,2021].

1.10 Aislantes

Son aquellos materiales utilizados en la industria, generan resistencia ante un factor físico, es decir, los aislantes como bien sabemos aíslan o impiden la transferencia de calor, frío o ruido entre dos cuerpos [22].

En la figura 5 encontramos un ejemplo de aislante, aplicado en la industria para tuberías que se encuentran a mayor temperatura.

Figura 5

Estructura del aislante fibra cerámica



Nota. La figura representa un ejemplo de aislante térmico. Tomado de: TecnoPeg “Fibras cerámicas”, [En línea]. Disponible: <https://www.tecnopeg.com/fibras-ceramicas/> [Acceso: Septiembre, 12, 2021]

1.10.1 Utilización de los aislantes

Estos se utilizan principalmente en la industria obrera, se caracterizan principalmente por:

- Conservar la energía [23].
- Mantenimiento en la temperatura de algunos procesos industriales [23].
- Prevención de la corrosión y la condensación [23].
- Protección contra la congelación [23].
- Reducción del ruido y la vibración [23].

1.10.2 Tipo de aislantes

Los materiales aislantes se caracterizan por tener una baja conductividad térmica (conductividad menor a $0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) [23]. Existen varios tipos como por ejemplo aislantes naturales, aislantes naturales reciclados, de origen animal, entre otros.

Por tanto, definiremos solo algunos de ellos:

- Aislante natural reciclado:

Se entiende como aquel aislante que maneja materiales reciclados en su proceso de elaboración, un ejemplo de esto son aquellos que utilizan fibra de algodón o muchas veces fibras de residuos textiles que finalizan su ciclo de vida útil [24].

- Aislantes animales:

Se caracterizan por su origen ya que estos son elaborados muchas veces con la piel de animales como por ejemplo lana de ovejas, las plumas de las aves o en muchos casos el pelaje de los osos [25].

- Aislantes vegetales:

En cuanto a los aislantes vegetales, estos son los que presentan mayor producción en el mundo, la materia prima para su respectiva elaboración proviene de la corteza de los árboles, caña de azúcar, cocos, plantas, entre otros [26].

Uno de los beneficios radica en la reutilización de estos una vez cumplen su ciclo, adicionalmente pueden combinarse para elaborar nuevos productos.

- Aislantes sintéticos:

Para estos aislantes “se destacan la espuma de poliestireno, espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, poliestireno expandido, etc. Siendo estos los materiales más utilizados” [22].

1.11 Propiedades de los aislantes

1.11.1 Propiedades mecánicas

Se definen como aquellas propiedades que describen un material a la hora de ejercer una fuerza sobre él, se pueden encontrar diferentes características en los aislantes para determinar dichas propiedades, entre ellas se encuentran la elasticidad, dureza, fragilidad, ductilidad, entre otros [27].

1.11.2 Propiedades físicas

Se caracterizan por la apariencia que recibe un material, ya que estas pueden ser observadas o medidas. Algunas propiedades que encontramos en los aislantes hacen referencia a la resistencia térmica, transmitancia térmica, conductividad térmica, etc.

1.11.3 Propiedades químicas

Las propiedades químicas se pueden definir como aquellas que cambian la composición del material ya que existen reacciones o condiciones experimentales que lo permiten, podemos encontrar algunas como oxidación del material, toxicidad, acides, entre otros.

En los aislantes térmicos estas propiedades no son tan comunes, ya que no suelen llevar sustancias químicas que alteren el material aislante [28].

1.12 Variables del proceso

Para los aislantes térmicos podemos medir y controlar las condiciones físicas o químicas que estos representan, como bien sabemos estos son capaces de retener el flujo de energía que pasa desde un cuerpo hacia ellos, para estudiar mejor los aislantes es importante tener algunos términos presentes ya que estos ayudan a determinar si un material cumple o no con las propiedades necesarias de un aislante térmico.

1.12.1 Propiedades de los aislantes

Proceso por el cual se determina un aislante, su principal propiedad es la conductividad, sin dejar de lado otras como por ejemplo densidad, estabilidad química, entre otros [29].

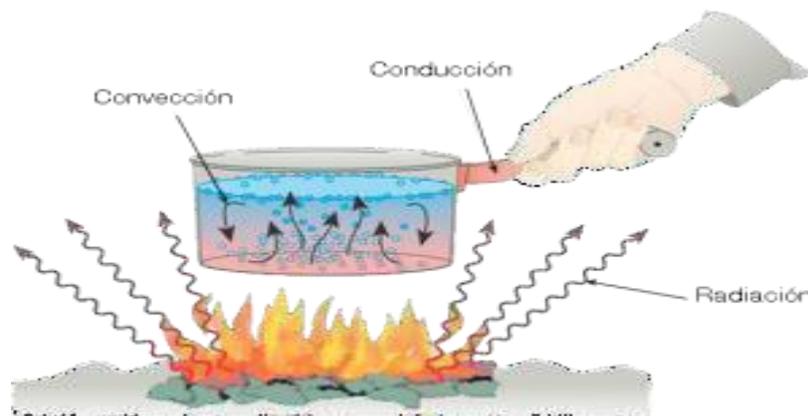
Por otro lado, para definir los mecanismos en aislantes, se pueden evidenciar varios ejemplos en la vida cotidiana, uno de ellos se explica cuando se calienta agua en la

estufa y este se levanta, ocurre un proceso de vacío que impide el contacto directo de calor entre dos medios.

En la figura 6 podemos observar el paso de energía desde un objeto solido que se encuentra a mayor temperatura hacia un fluido que se encuentra a menor temperatura.

Figura 6

Métodos de transferencia de calor



Nota. La figura representa los mecanismos de transferencia de calor por medio de un ejemplo como el vacío. Tomado de: CarboSystem “Aislantes Térmicos”, [En línea]. Disponible: <https://carbosystem.com/aislantes-termicos/> [Acceso: Octubre, 27, 2021]

En los aislantes térmicos podemos observar que la finalidad de estos es reducir el flujo de calor, evitando la transferencia de un sistema [30].

1.12.2 Conducción

Se entiende como la transferencia energética que tienen las partículas, aquellas regiones que tienen alta temperatura, sus partículas fluirán hacia las regiones con partículas adyacentes menos energéticas o que poseen baja temperatura. La conducción tiene lugar en los sólidos, líquidos y gases [31].

La conducción no es tan común en los aislantes ya que estos impiden la transferencia de energía y por tanto el paso de calor, para prevenir que exista la conducción generalmente se emplea aire con baja humedad [32].

1.12.3 Convección

Podemos describir la convección como el proceso de transporte energético que se da entre superficies sólidas y el líquido o gas que se encuentra en movimiento y comprende los efectos que se dan entre la conducción y el movimiento del fluido. Se dice que entre más rápido es el movimiento, mayor será la transferencia de calor [31].

Para prevenir la convección en los aislantes es necesario tener en cuenta el material de aislamiento puesto que se debe incluir aquellos que sean porosos o fibrosos.

1.12.4 Radiación

Se comprende como el paso de la energía emitida por la materia en forma de ondas como el resultado de los cambios en su configuración, se evidencia cuando un cuerpo que se encuentra a una temperatura mayor transfiere calor aun cuando existe vacío hacia un cuerpo que se encuentra a temperatura menor [31].

1.12.5 Conductividad térmica

Propiedad física por el cual, la cantidad de calor que pasa a “unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras” [33].

Para los aislantes térmicos la conductividad térmica es uno de los parámetros más importantes, se debe tener en cuenta que al establecer un valor elevado el material aislante será un buen conductor de calor y para el caso contrario si su valor es bajo, indicara que este es un mal conductor de calor y se determinara como un aislante [34].

El coeficiente de conductividad térmica para fibras textiles como aislante térmico se expresa mediante la ecuación 1:

Ecuación 1.

Calculo coeficiente K

$$k(\lambda) = \frac{L}{A(T_1 - T_2)} \dot{Q}$$

Nota. Se representa la ecuación de k que relaciona el coeficiente de conductividad térmica con el flujo de calor que atraviesa el área y el gradiente de temperaturas [35]. Extraída de [35].

Donde:

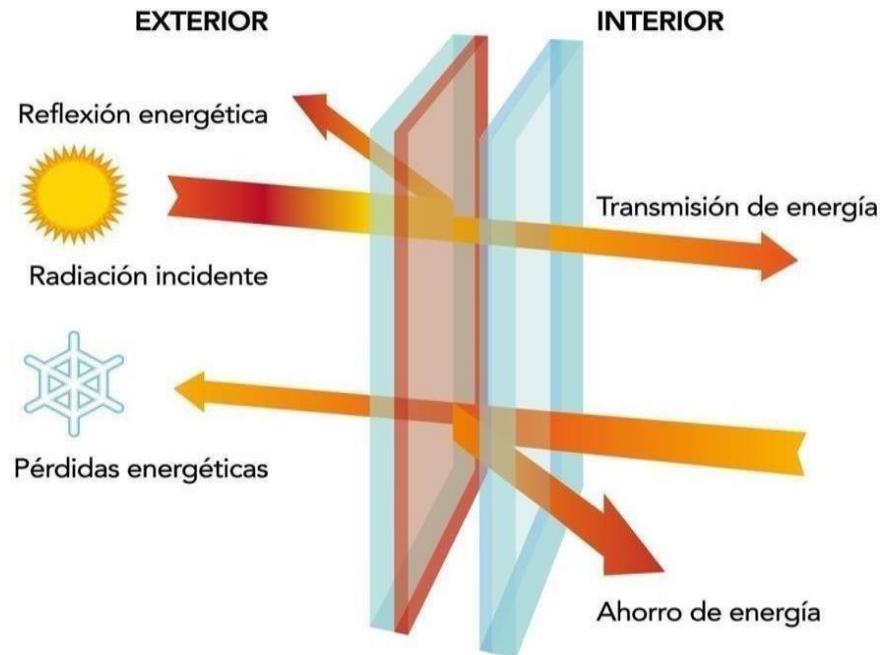
- $k(\lambda)$ = Coeficiente de conductividad térmica [35]
- $T_1 - T_2$ = Temperaturas [35]
- L = Espesor [35]
- \dot{Q} = Calor [35]
- A = Área [35]

Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son vatio por metro y kelvin $W/(m \cdot K)$, aunque también se expresa como $kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$ [36].

Por lo general, los aislantes térmicos son muy malos conductores de calor, en la figura 7 se observa como ocurre el proceso de asilamiento ante agentes externos.

Figura 7

Estructura de la conducción térmica en un aislante



Nota. La figura representa la conducción térmica en un cuerpo aislante. Tomado de: Blog Aislamientos Diansa “Consejos para tener un buen aislamiento térmico”, [En línea]. Disponible:<http://diansa.com/blog/2018/08/23/buen-aislamiento-termico/> [Acceso: Octubre, 27, 2021]

Los aislantes usan conductividades térmicas muy bajas, algunos ejemplos son: Poliestireno expandido ($\lambda = 0,029$), poliuretano ($\lambda = 0,019$), lana ($\lambda = 0,035$), algodón ($\lambda = 0,029$), entre otros [37].

1.12.6 Aislamiento térmico

«El aislamiento térmico consiste en dificultar las transmisiones de calor del interior al exterior y viceversa, para evitar las pérdidas de calor en periodos fríos y la ganancia del mismo en temporadas cálidas. Para aislar se emplea materiales que tengan conductividad térmica baja y la capacidad de frenar la intensidad de un flujo térmico. Los materiales atrapan aire o algún otro gas dentro de cavidades pequeñas, y se reduce el flujo de calor.» [38]

La medida para aislar térmicamente se enuncia en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en $W/m^2 \cdot K$ (metro cuadrado y kelvin por vatio) [36].

1.12.7 Temperatura

Magnitud que hace referencia a las nociones internas de un cuerpo o el ambiente, se entienden como caliente o frío o de mayor y menor temperatura según sea el caso [39]; para los aislantes térmicos existe un rango de temperatura para poder seleccionarlos que se representaran a continuación:

- “A temperaturas elevadas (Superiores a $500^{\circ}C$): Para que este grupo pueda soportar altas temperaturas, deben ser de tipo cerámico y refractario. Generalmente son usados en equipos que puedan estar expuestos a contaminación o que sea necesario inspeccionarlos o requieran de limpieza especial” [40].

Algunos de los ejemplos encontrados en este rango son: Ladrillos cerámicos, morteros y hormigones.

- “A temperaturas intermedias (Entre $100^{\circ}C$ y $500^{\circ}C$): Debido al rango de temperaturas donde es posible usarlos, existe una gran cantidad de materiales que conforma este grupo y por supuesto diferentes maneras de aplicarlos, ya sea en la industria o en el uso cotidiano y doméstico” [40].

Algunos de los ejemplos encontrados en este rango son: Roca, lana, vidrio, fibras, etc.

- “A temperaturas bajas. Son comúnmente designados para uso doméstico o alimenticio, en procesos fisicoquímicos como separación y almacenamiento de gases y para

acondicionamiento de aire. Los principales representantes de este grupo son el corcho, la madera, las fibras y las gomas o plásticos” [40].

Para el aislante de poliéster se debe tener en cuenta que corresponde al grupo de fibras, por tanto, se sitúa en temperaturas intermedias.

Adicionalmente es importante en los aislantes térmicos tener presente el termino de humedad ya que esta será determinante, pues si “la presión de vapor de agua que se encuentra en el exterior del aislamiento está por encima a la del interior, se produce una difusión y el vapor pasa a la estructura del aislante, haciendo que no cumpla su función” [40].

1.12.8 Humedad

«Muchas veces el aislante térmico se encuentra en entornos húmedos corriendo riesgo de absorción de agua, lo que conlleva a que la conductividad térmica aumente al igual que la dureza se vea afectada. Para conocer la absorción de agua de un aislante se pueden hacer ensayos de absorción de agua por difusión de vapor o por inmersión.

Cuanto mayor sea el contenido de humedad del aislante, menor será la capacidad aislante que posee, puesto que genera una degradación acelerada del producto que muchas veces incluye la destrucción del mismo.» [41].

Por medio de las generalidades y una revisión documental de tesis, más precisamente el trabajo de grado ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA INDUSTRIA TEXTIL PARA LA FABRICACIÓN DE TEXTILES A PARTIR DE RESIDUOS TEXTILES PRE Y POST CONSUMO, elaborado por Ana Paula Huerta y Diego Antonio Irrazabal de la universidad católica San Pablo en el año 2019, se logró determinar los aspectos técnicos de las camisetas posconsumo con base en poliéster como:

- Identificar los tipos de textiles aptos para reciclar y los que poseen prioridad en poliéster [16].
- Clasificación según el tipo de material (Lana, poliéster o fibra de poliéster) [16].
- Tipo de Color : Preferiblemente blanco [16].
- Transformación de residuos textiles por medio de un proceso [16].

Por otro lado también se revisó el artículo Development of New Insulation Panels Base don Textile Recycled Fibers realizado por I. C. Valverde, L. H. Castilla, D. F. Nueñez, E. Rodriguez Y R. de la Mano Ferreira, en el centro tecnológico AIMEN en el año 2013, se establecieron otros aspectos:

- Resistencia térmica del poliéster [42]
- Comparación de la conductividad térmica del aislante de poliéster con otros materiales de aislamiento térmico comunes [42]
- Densidad de los residuos textiles [42]
- Realizar el pretratamiento de las fibras textiles [42]

2. MATRIZ DE SELECCIÓN

En el siguiente capítulo se seleccionó un método alternativo para el proceso de obtención de poliéster de las camisetas posconsumo y por otra parte se escogerá un método que ayude en la elaboración de aislante térmico por medio de la matriz de selección; en primer lugar, se seleccionará la técnica para la toma de decisiones, luego se definen los criterios de evaluación y finalmente se realiza la matriz de selección.

2.1 Técnicas para la toma de decisión multicriterio

Para entablar la selección de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos de los objetivos, se procedió a ejecutar la descripción de las posibles alternativas en la toma de decisiones.

2.1.1 Método PUGH

El método de PUGH, también conocido como la matriz de decisión, tiene como finalidad confrontar una serie de criterios de análisis para evaluar una determinada situación mediante un arreglo multidimensional (matriz de decisiones) en otras palabras para lograr la mejor alternativa frente a una decisión es posible distinguir y comparar los puntos peores, iguales o mejores de las alternativas a tratar [43].

El primer paso para elaborar esta matriz consistió en observar los criterios que se ubicaran en la primera columna, seguidamente se asignara una ponderación de importancia a todas las alternativas de diseño con +1, -1 o 0 dependiendo si el cumplimiento del criterio es superior, inferior o igual al criterio base, posteriormente se sumara cada alternativa con su ponderación y finalmente priorizarán las diferentes alternativas [44].

De igual manera es importante identificar los criterios que se evaluaron ya que estos corresponden básicamente a las necesidades que el cliente necesite. Estos criterios fueron ubicados en la parte superior de la matriz. Luego se deben explicar los posibles términos de diseño que apunten al cumplimiento de los juicios definidos. Los mismos aparecen en la parte izquierda o derecha de la matriz [45].

Figura 8

Base de la matriz de PUGH

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Concepto 1					
Concepto 2					
Concepto 3					
Concepto 4					
Concepto 5					

Nota. La figura representa la estructura detallada de la matriz PUGH. Tomado de:PDCAHOME “Matriz de pugh: Ayuda a la toma de decisiones”, [En línea]. Disponible:<https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/> [Acceso: Agosto, 27, 2021]

2.1.2 Método AHP

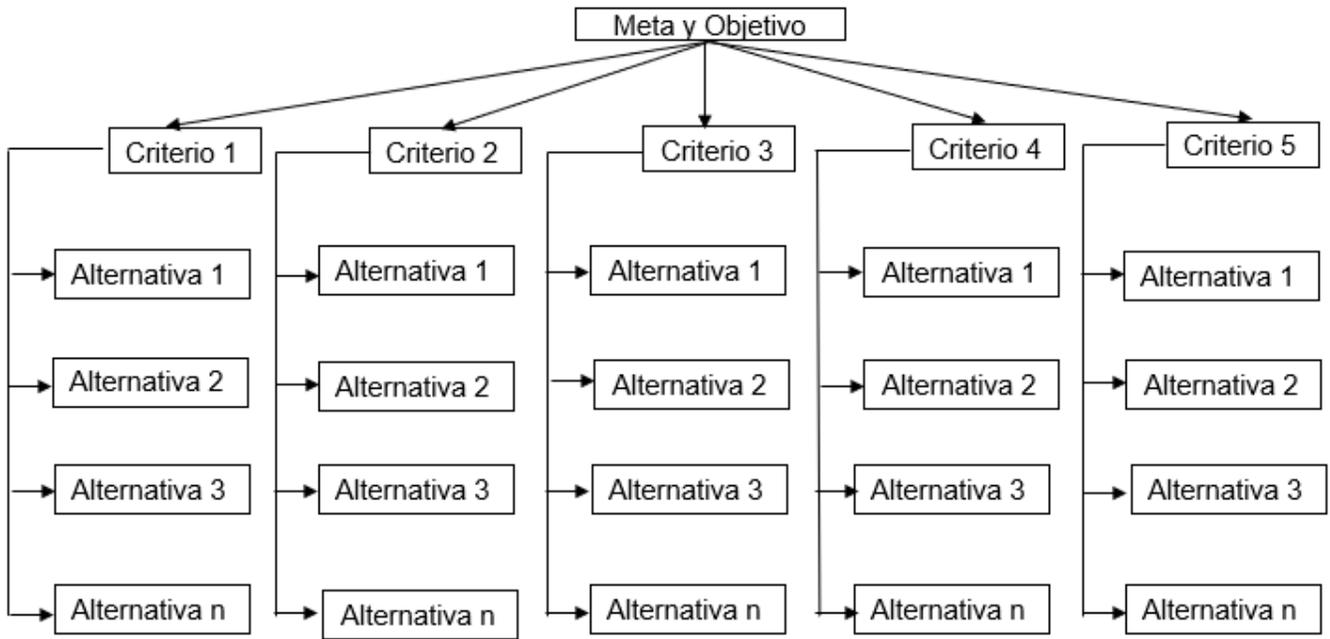
“El método AHP (Analytic Hierarchy Procces o análisis jerárquico de proceso) es una herramienta muy útil para solventar problemas complejos de toma de decisiones y ayudar al usuario o decisión-maker a adoptar la solución más adecuada a través de una estructura jerárquica” [46].

Este método se caracteriza principalmente en el propósito ya que desajusta y ordena de manera detallada el problema por medio de un proceso analítico, se debe tener en cuenta para la toma de decisión multicriterio algunos aspectos importantes como la elección de criterios y subcriterios, estos deben ser concisos, claros y que exista independencia entre ellos, además se debe tener una escala que ayude a la comparación de las alternativas propuestas y finalmente se seleccionó la equivalencia de alta importancia que se encuentre en uno de los criterio propuestos [47].

Esta matriz se puede observar con mejor detalle en la figura 9, esta representa la estructura final con sus criterios y alternativas correspondientes.

Figura 9

Estructura jerárquica general del método AHP



Nota. La figura representa la estructura detallada de la matriz AHP. Tomado de: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla “Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil”, [En línea]. Disponible <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5618/fichero/ProyectoFinal2.pdf> [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Luego de observar la figura, es importante aclarar que el número de criterios y subcriterios deben ser precisos, relevantes e independientes, en cada nivel el máximo valor debe ser 7 para evitar excesivas comparaciones y error en el método de elección [48]

2.1.3 Método VIKOR

«El método VIKOR proporciona para el conjunto de alternativas una o varias soluciones de compromiso. El método VIKOR es conveniente para solventar problemas de decisión con criterios en conflicto y valorizables, es decir, con distintas unidades, o en el caso de que haya criterios cuantitativos y cualitativos. La solución viene explícita como aquella que se encuentra a una distancia más corta de la solución ideal.» [49].

Para obtener la solución de compromiso se sigue los siguientes pasos:

1. Se calcula los mejores f_i^* y los peores f_i' , estos hacen referencia a los valores asignados por cada alternativa que se tiene, para cada criterio [49].

Ecuación 2.

*Cálculo de los mejores f_i^**

$$F_i' = \max_j f_{ij} \quad F_i'' = \min_j f_{ij}, \text{ Si la función } i \text{ representa un beneficio}$$

$$F_i' = \min_j f_{ij} \quad F_i'' = \max_j f_{ij}, \text{ Si la función } i \text{ representa un beneficio}$$

Nota. Se muestran las condiciones de un máximo y un mínimo dependiendo el beneficio del criterio [49]. Extraído de [49].

2. Se calcula los valores de utilidad S_j , del arrepentimiento R_j y el índice Q_j para cada alternativa, con las ecuaciones 3,4 y 5 [49].

Ecuación 3

Cálculo de la utilidad S_j

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{F_i^* - F_{ij}}{F_i^* - F_i}$$

Nota. Representación de la ecuación, para el cálculo de la utilidad con relación a los F_i [49]. Extraído de [49].

Ecuación 4

Cálculo del arrepentimiento R_j

$$R_j = \max_i \left[w_i \frac{F_i^* - F_{ij}}{F_i^* - F_i} \right]$$

Nota. Representación de la ecuación, para el cálculo del arrepentimiento [49]. Extraído de [49].

El arrepentimiento ocurre cuando los resultados de las decisiones son confrontados a los resultados que se hubieran obtenido si se hubiera tomado otra decisión. Esto designa un desacuerdo, el cual resulta de dicha confrontación de resultados [50].

Ecuación 5

Cálculo del índice Qj

$$Q_j = v \frac{S_j - S^*}{S - S^*} + (1 - v) \frac{R_j - R^*}{R - R^*}$$

Nota. Representación de la ecuación, para el cálculo del índice Qj [49]. Extraído de [49].

3. Ordenar Q_j de menor a mayor valor.
4. Verificar que se cumplen las condiciones de aceptabilidad.
 - 4.1 Condición 1: Ventaja aceptable [49].

Ecuación 6

Primera condición: ventaja aceptable

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$$

Nota. Se representa la ecuación para que la propuesta sea aprobada [49]. Extraído de [49].

Donde A2 es la segunda alternativa según la clasificación de los valores Q y DQ que se puede expresar como [49]:

Ecuación 7

Definición de DQ

$$DQ = \frac{1}{j - 1}$$

Nota. Cálculo de la variable DQ [49]. Extraído de [49].

Siendo j el número de alternativas.

- 4.2 Condición 2: Estabilidad aceptable en el proceso de decisión [49].

“La alternativa A (1) debe ser también la mejor clasificada según el listado de valores de S y/o R. Esta solución de compromiso es estable dentro de un proceso de decisión” [49].

Si una condición no es reparada, se propone un conjunto de recursos que cumplan con el compromiso, el cual consiste en:

- Alternativas A (1) y A (2) si no es satisfecha la condición 2 [49].
- Alternativa A (1), A (2), ..., A (M), si no es satisfecha la condición 1; A (M) se determina teniendo en cuenta la relación [49]:

Ecuación 8

Solución ideal para las alternativas

$$Q(A^{(M)})Q(A^{(1)}) \leq DQ$$

Nota Condición para que sea una alternativa ideal [49]. Extraído de [49].

- Se considera que estas alternativas están “cerca” a la solución ideal [49].

Se observo que el método VIKOR es el más apropiado para la selección de decisiones multicriterio ya que es muy eficaz, en efecto es fácilmente aplicable a aquellas situaciones en las que se presenta dificultad a la hora de definir los criterios de evaluación o presenta cierto grado de incertidumbre en el análisis de criterios y su desempeño con el resultado final, adicionalmente es bastante simple y expone un enfoque lógico ayuda a dar solución de compromiso, de manera acertada [51].

2.1.4 Método de sumas ponderadas

Esta se caracteriza por tener un rango numérico asignado a cada criterio, estos tienen un peso que va de mayor a menor dependiendo la importancia del criterio seleccionado y los pesos deben sumar 1 [52].

Ecuación 9

Ecuación del método sumas ponderadas.

$$Mi = \sum a_{ij} * w_j$$

Donde M_i = Calificación ponderada de la alternativa i

a_{ij} = Calificación de la alternativa i en el criterio j

w_j = Peso de ponderación del criterio j

Nota Ecuación para el cálculo de la suma ponderada [48].

2.2 Elección de la técnica de decisión multicriterio

Cada una de las técnicas mencionadas tiene tanto ventajas como desventajas y entre una y la otra no existe mucha diferencia, por lo cual la seleccionada para nuestro caso de estudio fue el método VIKOR.

El método VIKOR es una herramienta efectiva en situaciones donde el responsable de la toma de decisiones no existe una preferencia hacia algunas alternativas, también de la toma de decisiones está dispuesto a aprobar la solución más cercana al ideal, existe una relación lineal entre cada función de criterio que no existe en el caso de las sumas ponderadas y el método AHP, además el tomador de decisiones puede aprovechar de un ranking completo e información adicional proporcionada por el método para ponderar el conjunto de alternativas valoradas, de decisiones acepta un kernel (Solución compromiso, conjunto compromiso) como el conjunto de alternativas que seleccionará para alcanzar el objetivo de la decisión y de decisiones permitirá expresar algunas o todas las evaluaciones de la matriz de decisión como números intervalo y/o números difusos [53].

2.3 Criterios de evaluación.

Es importante tener en cuenta el objetivo que se desea realizar para poder realizar la debida selección de la alternativa, estos se basan en realizar un trabajo que disminuya el impacto ambiental generado, donde se evidencio que el pre tratamiento que se les da actualmente a los residuos textiles para poder obtener una separación y limpieza del poliéster, es el que más afecta debido al gasto energético que se requiere para que ocurra esto, a la contaminación de agua por el uso de urea como agente limpiador [54].

También al existir diferentes maneras de separación de polímeros como son por centrifugación, por flote, por agentes químicos y nuevas tecnologías como son los líquidos iónicos que son los nuevos solventes verdes [55].

De acuerdo con los objetivos se realizó una propuesta de 6 criterios de evaluación para cada una de las alternativas, estos criterios son:

1. Impacto ambiental:

Para el primer criterio se escogió el impacto ambiental puesto que esta es una de las problemáticas más vistas en la industria textil, se busca que la propagación constante de contaminación como las emisiones de gas efecto invernadero o la contaminación de suelos producto de los desechos generados se reduzcan [56].

2. Eficiencia en la separación del poliéster.

En el criterio 2 se escogió la eficiencia en la separación del poliéster debido a que este presenta impurezas o fragmentos que se adhieren a las fibras de poliéster en planta [57].

3. Seguridad.

Como criterio 3, se seleccionó la seguridad de los empleados a la hora de manipular sustancias químicas ya que es necesario utilizar los elementos de protección personal siempre que se manipulen, además estos deben ser puestos antes de iniciar las actividades en el área de trabajo [58].

4. Costo.

Se seleccionaron los costos como el criterio 4, debido a que, para la implementación de una metodología se debe comparar con varias alternativas que ayuden a seleccionar una sustancia pues esta no debe tener mayores gastos en su implementación.

5. Uso racional de agua.

Para el criterio 5, se tomó como un ítem separado el uso racional del agua, ya que aparte del impacto ambiental que genera el consumo de este elemento en los procesos de elaboración de los aislantes térmicos (como los que son con base en lana, poliestireno, etc) [59], el utilizar agua significa una ineficiencia a nivel financiero debido al alto costo de este recurso.

6. Viabilidad tecnológica.

La viabilidad tecnología se escogió como el criterio 6 debido a las actualizaciones que hoy en día se estudian para la elaboración de aislantes térmicos.

Tabla 4

Valores de clasificación de criterios

VALOR	IMPORTANCIA	LITERATURA
5	Mucho más importante	Muy Fuerte [60]
4	Muy importante	Fuerte [60]
3	Igual	Moderada [60]
2	Menos importante	Bajos [60]
1	Mucho menos importante	Igual [60]

Nota. Esta tabla muestra la comparación de valores para la clasificación de las diferentes alternativas.

Se estandarizo que para el proceso de elaboración de aislante térmico los valores a utilizar son de 1 como el valor mucho menos importante a 5 como el valor mucho más importante.

Con los valores definidos se procedió a realizar la comparación de criterios por pares, en la (tabla 5) se evidencia dicha comparación

Tabla 5

Comparación de criterios por pares

numero de criterio	numero de criterio							suma	peso
	1	2	3	4	5	6			
1		5	5	3	3	4	20	0,2632	
2	2		3	3	3	2	13	0,1711	
3	3	2		2	3	2	12	0,1579	
4	5	3	3		2	3	16	0,2105	
5	4	3	2	3		3	15	0,1974	
6	3	4	3	2	2		14	0,1842	
Total							76	1	

Nota. Esta tabla muestra la comparación de criterios por pares para determinar el peso de los criterios.

El peso de los criterios se determinó realizando la suma de cada comparación de izquierda a derecha y posteriormente dividiéndola sobre la suma total, esto se demuestra en la ecuación 10

Ecuación 10

Obtención del peso para el criterio 1

$$\text{Criterio}(1) = \text{Criterio (2)} + \text{Criterio (3)} + \text{Criterio (4)} + \text{Criterio(5)} + \text{Criterio (6)}$$

$$\text{Criterio (1)} = (5 + 5 + 3 + 3 + 4) = 20 \text{ (suma de valores por criterio)}$$

$$\text{Suma de valores por criterio} \div \text{Total de las sumas} = \text{Peso}$$

$$(20 \div 76 = 0,2632 \text{ Peso})$$

Nota. Cálculo del peso teniendo en cuenta el criterio 1 respecto a la comparación de los valores con otros criterios.

Como se puede observar en la Tabla 5, el criterio más importante fue el impacto ambiental y el menos importante es el costo del solvente, la jerarquía de los criterios quedó definida en la (tabla 6).

TABLA 6

Jerarquía de los criterios de selección

Criterio	peso
impacto ambiental	0,2632
Costo	0,2105
Uso de agua	0,1974
Avance tecnologico	0,1842
Eficiencia en la separación de poliest	0,1711
Seguridad	0,1579

Nota. Jerarquía de los criterios de selección ubicados del más importante al menos importante.

Al método VIKOR se le puede asignar a cada criterio que sea evaluado un valor numérico, para ello se realiza la división de cada criterio en 5 opciones numéricas que funcionen como guía para la evaluación de alternativas, en donde el número 5 representa la mejor condición para el proceso y el número 1 la condición menos favorable. En este caso se aplicaron los criterios correspondientes a impacto ambiental, la seguridad y el avance tecnológico, que se puede apreciar en la (tabla 7) de este proceso por que se hable maximizar y minimizar para obtener una decisión “ideal”.

Tabla 7

Cualificación de algunos criterios a evaluar

Criterio		descripcion
impacto ambiental	1	muy bajo
	2	bajo
	3	moderado
	4	alto
	5	muy alto
Criterio		descripcion
seguridad	5	muy seguro
	4	seguro
	3	moderadamente seguro
	2	poco seguro
	1	muy poco seguro
Criterio		descripcion
avance tecnologico	1	muy bajo
	2	bajo
	3	moderado
	4	alto
	5	muy alto

Nota. Jerarquía de los criterios de selección ubicados del más importante al menos importante.

2.4 Alternativas a evaluar

En este aspecto se tendrá en cuenta el solvente para el pretratamiento de 10 Kg/h de residuos textiles, valor que se escogió con base a los equipos requeridos en el proyecto además de la generación de residuos textiles en la ciudad de Bogotá, donde diariamente se botan 600 toneladas de ropa usada [61], por tanto, gracias a que se usan solventes inorgánicos y que estos han sido uno de los grandes problemas ambientales para limpiar las impurezas, se buscaron diferentes alternativas que fueran más amigables con el ambiente, que no utilizaran gran cantidad de agua y que tuvieran un alto porcentaje de separación de poliéster [62].

Así mismo la selección de estas alternativas se dio ya que son catalizadores que presentan una fuerza acida más alta que los ácidos minerales, además, se consideran muy buenos solventes de celulosa que ayudan a una correcta separación del poliéster, se caracterizan por su baja corrosividad, poca toxicidad y su alta seguridad en comparación a otros agentes ácidos y a la hora de mezclarlos se conservan [62].

- A. Ácido fosfotúngstico 87%
- B. Ácido fosfórico al 85%
- C. Agua supercrítica
- D. Hidróxido de sodio 70%

Para implementar el agua supercrítica se requiere de temperaturas y presiones por encima del punto crítico termodinámico, funciona para cualquier tipo de material y se necesita de una planta de tratamiento hidrotérmico lo que aumentaría los costos en el proyecto [63], por tanto, esta no fue implementado y solo se tuvo en cuenta para la selección de alternativas.

Aplicando el método VIKOR para la selección de la alternativa ideal, se empezó por tabular cada alternativa, con sus respectivos criterios mencionados en el punto anterior. Para así seleccionar el máximo y mínimo de cada criterio, esto se observa detalladamente en la (tabla 8).

Tabla 8

Matriz de selección: método VIKOR mejores y peores resultados.

Alternativa	Criterios					
	minimizar	maximizar	minimizar	minimizar	minimizar	minimizar
	Impacto Ambiental	Eficiencia	Seguridad	Costo	Uso de agua	Avance tecnologico
Ácido fosfotúngstico	5	0,962	2	\$ 476.235	40	3
Ácido fosfórico al 85%	4	0,988	4	\$ 5.312	50	2
Agua supercrítica	3	0,954	3	\$ 4.650	55	5
Hidróxido de sodio	4	0,852	2	\$ 36.841	60	2
mejor f*	2	0,988	4	\$ 4.650	40	2
peor f	5	0,852	2	\$ 476.235	60	5

Nota. Matriz de selección por el método VIKOR mejores y peores resultados.

Los valores que se dieron para cada criterio se determinaron en la tabla 7, donde se estandarizo 1 como el valor muy bajo y 5 como el valor muy alto, de igual forma, para la matriz se requirió minimizar y maximizar algunos criterios, por lo cual, los costos se tomaron de Alibaba y para la eficiencia se tomaron los siguientes valores de referentes bibliográficos.

- Ácido fosfotúngstico 0,962 [62]
- Ácido fosfórico 0,988 [64]
- Agua supercrítica 0,954 [65]
- Hidróxido de sodio 0,852 [66]

Para poder estandarizar todas las opciones de selección, se emplean en función del peso que tiene cada criterio, por ende se obtuvo la siguiente (tabla 9).

Tabla 9

Matriz de selección: método VIKOR estandarización de los resultados en base al peso del criterio.

Alternativa	Criterios					
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Ácido fosfotúngstico	0,2632	0,0327	0,1579	0,2105	0,0000	0,0614
Ácido fosfórico al 85%	0,1754	0,0000	0,0000	0,0003	0,0987	0,0000
Agua supercrítica	0,0877	0,0428	0,0789	0,0000	0,1480	0,1842
Hidróxido de sodio	0,1754	0,1711	0,1579	0,0144	0,1974	0,0000

Nota. Matriz de selección por el método VIKOR criterios estandarizados por el peso del criterio.

Después hallando los valores de utilidad S_j , del arrepentimiento R_j y el índice Q_j para cada alternativa, con las ecuaciones respectivas, se obtiene en la (tabla 10).

Tabla 10

Matriz de selección: método VIKOR obtención de utilidad S_j , arrepentimiento R_j y el índice Q_j .

S_j	R_j	Q_j
0,7257	0,2632	0,21382
0,2744	0,1754	-0,39277
0,5417	0,1480	-0,37819
0,7161	0,1974	-0,07668

Nota. Matriz de selección por el método VIKOR para la obtención de utilidad S_j , arrepentimiento R_j y el índice Q_j .

Así teniendo en cuenta el índice Q_j será ordenado de menor a mayor se obtendrá la opción óptima; dicho esto se evidencia la (tabla 11).

Tabla 11

Índice de menor a mayor Q_j .

Alternativa	Q_j	Jerarquia
Ácido fosfórico al 85%	-0,392769	1
Agua supercrítica	-0,378193	2
Hidróxido de sodio	-0,076678	3
Ácido fosfotúngstico	0,2138157	4

Nota. Índice Q_j para tener una elección óptima.

Según indica el método VIKOR la alternativa que tenga el valor de Q_j de criterio 1, es la opción indicada, sin embargo, no se puede afirmar que sea la mejor opción sin verificar que cumpla las condiciones de aceptabilidad descritas anteriormente, teniendo en cuenta las siguientes variables:

Ecuación 11

Aplicación de la ecuación 7

$Q(A^{(2)})$: la segunda opción según la jerarquía

$Q(A^{(1)})$: la primera opción según la jerarquía

N : Valor de las alternativas

$$DQ = \frac{1}{N - 1}$$

$$DQ = \frac{1}{4 - 1} = 0,33$$

Nota Aplicación de la ecuación 7 para el cálculo de DQ .

Ecuación 12

Aplicación de la ecuación 6

$$\begin{aligned}Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) &\geq DQ \\0,3993 - (-0.0647) &\geq 0,33 \\0,464 &\geq 0,33\end{aligned}$$

Nota Aplicación de la ecuación 6 para la verificación de la condición 1.

Como se puede observar, la primera alternativa es la más viable que corresponde al uso de ácido fosfórico al 85%, en consecuencia el resultado arrojado a la hora de comparar con los demás criterios, reporto mayor grado de separación y pureza del poliéster, en cuanto al uso de agua se da a razón de 1:2 por kilogramo de camisetas [62], también se identificó que es un proceso el cual no requiere un gran avance tecnológico logrando realizarse en la ciudad de Bogotá, además esta es una de las opciones más económicas que se pueden encontrar en el mercado [67].

3. DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

En el presente capítulo se realizó el diseño conceptual del proceso para la producción del aislante térmico de camisetas posconsumo con base en poliéster, teniendo en cuenta la alternativa seleccionada en el capítulo anterior, para esto se tuvo en cuenta la bibliografía consultada para el posterior diseño del aislante térmico.

3.1 Extracción del material camisetas posconsumo de poliéster

Para la extracción de las camisetas posconsumo con base en poliéster se ejecutó un análisis detallado de los residuos textiles que se generaban en la ciudad de Bogotá, es por esto por lo que se incluyó nuevamente una búsqueda bibliográfica.

Los residuos sólidos se están convirtiendo en una problemática preocupante en Colombia, “se estima que la generación de residuos de la zona urbana y rural podría llegar a 18,74 millones de toneladas en 2030” [68].

En la ciudad de Bogotá, la cantidad generada de residuos sólidos por material se evidencia en la (tabla 12).

Tabla 12

Composición macroscópica de residuos en la ciudad de Bogotá D.C.

MATERIA	PORCENTAJE DE GENERACIÓN
Orgánicos	51,32%
Plásticos	16,88%
Celulosas	13,67%
Textiles	4,54%
Vidrios	3,67%
Otros	3,36%
Madera	1,60%

Nota. Porcentaje de generación de residuos según el material. Tomadode: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos “Modelo deAprovechamiento La basura no es basura”, [En línea]. Disponible: https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf [Acceso: Oct. 25, 2021]

Como se pudo evidenciar anteriormente, los residuos textiles ocupan el 4,54% de generación en la ciudad de Bogotá lo que implica un total de 347,77 Toneladas/Día de desechos, que simplemente su disposición final se da en “rellenos sanitarios, los cuales generan impactos negativos al ambiente tales como la generación de lixiviados y gases, en caso de manejarse inadecuadamente puede contaminar las aguas (superficiales y subterráneas), el aire, el suelo (superficial y subsuelo), para luego ingresar al ser humano ya sea por vía oral, aérea o por contacto” [68].

Por tanto para la recolección y posterior extracción de camisetas posconsumo de poliéster, una de las mejores alternativas es el aprovechamiento y recuperación de estas, existen varias alternativas que brinda la ciudad de Bogotá, una de ellas es directamente del relleno sanitario Doña Juana, otra alternativa es asistir a los centros de acopio de reciclaje que existen en la ciudad y finalmente por medio de campañas por sectores donde los ciudadanos o consumidores, que deseen donar sus camisetas que han finalizado su ciclo de vida útil puedan hacerlo sin ningún problema o finalmente, se puede implementar un sistema logístico donde la organización implemente su propio centro de acopio y recolección de material textil [16].

3.2 Materia prima

La selección del material se dio principalmente por los altos índices de residuos generados en la ciudad de Bogotá, adicionalmente por los impactos ambientales que el poliéster causa cuando una prenda cumple su ciclo de vida útil y este es arrojado a los rellenos sanitarios o vertederos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en Bogotá los residuos textiles posconsumo se estiman en unos 347 toneladas por día, en las tablas 13 y 14 se observa la generación promedio de estos residuos por localidad [68].

En otro orden de ideas, también se escogieron las camisetas de poliéster ya que este material representa una de las fibras más utilizadas en la industria de la moda y su consumo aumenta en promedio un 5% cada año, por tanto esta genera un alto riesgo para el ambiente y la salud humana [69], adicionalmente se debe tener en cuenta que las camisetas deben ser de color blanco para evitar el proceso de despigmentación, en la (tabla 13), se observa la cantidad de residuos por localidad expresado en Ton/día.

Tabla 13

Porcentaje de residuos generados por localidad en la ciudad de Bogotá D.C.

Localidad	(Ton/día)
Usaquén	8,45
Chapinero	2,61
Santa fe	8,53
San Cristóbal	32,26
Usme	7,31
Tunjuelito	7,04
Bosa	40,55
Kennedy	44,41
Fontibón	15,63
Engativá	36,01

Nota. Porcentaje de generación de residuos según la localidad. Tomado de: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos “Modelo de Aprovechamiento La basura no es basura”, [En línea]. Disponible: https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf [Acceso: Oct. 25, 2021]

En la (tabla 14) se observan más residuos generados en diferentes localidades de la ciudad de Bogotá, que también se expresa en Ton/ día .

Tabla 14

Porcentaje de residuos generados por localidad en la *ciudad de Bogotá D.C.*

Localidad	(Ton/día)
Suba	34,59
Barrios Unidos	16,75
Teusaquillo	6,24
Los Mártires	2,17
Antonio Nariño	6,52
Puente Aranda	4,10
La Candelaria	0,41
Rafael Uribe	25,89
Ciudad Bolívar	48,22

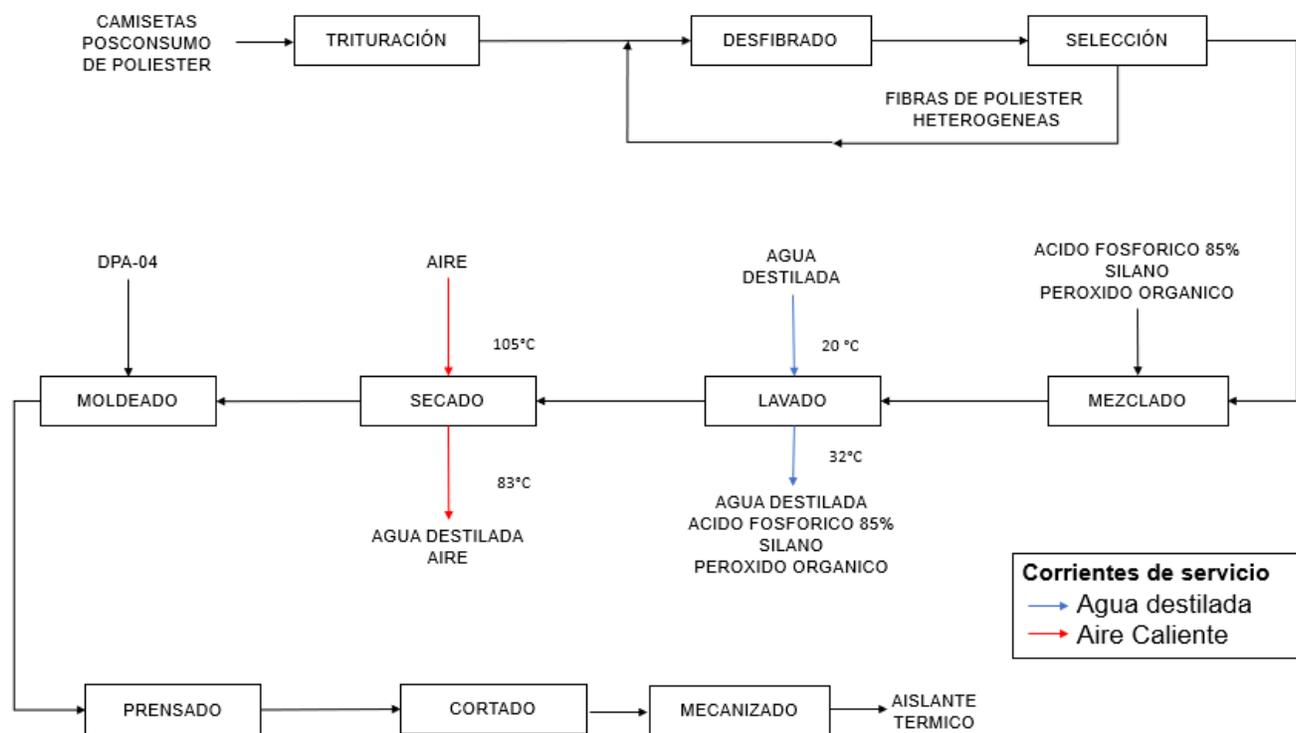
Nota. Porcentaje de generación de residuos según la localidad. Tomado de: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos “Modelo de Aprovechamiento La basura no es basura”, [En línea]. Disponible: https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf [Acceso: Oct. 25, 2021]

3.3 Descripción del proceso

A continuación, en la figura 10 se muestra el diagrama de flujo de bloques propuesto apartir de la revisión bibliográfica.

Figura 10

Diagrama BFD proceso elaboración aislante térmico



Nota. Diagrama BFD elaboración de aislante térmico.

3.3.1 Pretratamiento de las fibras textiles

En este proceso se tiene en cuenta el tratamiento que se le darán a las camisetas posconsumo desde su recolección hasta la elaboración del aislante térmico ya que, gracias a estas las propiedades mecánicas y físicas mejoraran de forma significativa logrando que el objetivo de elaborar un aislante se cumpla en su totalidad.

3.3.2 Trituración

Consiste en la ruptura de grandes trozos provenientes de la naturaleza [70]. Este proceso se hace con el fin de preparar la materia prima para posteriores operaciones, ya que se reducirá el tamaño de las camisetas posconsumo con el fin de mejorar su manejabilidad.

3.3.3 Desfibrado

Consiste en desarmar los trozos de las camisetas posconsumo en fragmentos más pequeños para extraer las fibras de poliéster.

Para este paso es recomendable procesar 10 kg de trozos de residuo textil posconsumo o pequeñas cantidades para que a la hora de utilizar la maquina desfibradora no vayan a ocurrir problemas como, por ejemplo, perdida de material, deformación en las fibras de poliéster o que el material quede atrapado entre los discos e impida el paso de este ocasionando costos adicionales de mantenimiento al equipo [22].

Las fibras que vayan saliendo del equipo deben ser largas y heterogéneas en cuanto a su longitud y grosor, por tanto, el tamaño y forma de los discos debe pertenecer al grupo de refinadores, además la separación entre ellos se debe calibrar en función del ruido y las vibraciones del equipo con el fin de generar fibras de poliéster más delgadas, uniformes y consistentes [22].

Por otro lado, para este paso se puede incluir una desfibradora de alta velocidad que ayude a separar las fibras eficazmente, también se puede utilizar una trituradora de doble eje, el cual será implementado en el proyecto.

3.3.4 Selección

Después, las fibras de poliéster serán sometidas a elección con el propósito de obtener la más homogéneas y delgadas para continuar con el proceso, de lo contrario volverán a pasar por el desfibrador para reducir más su tamaño y que logre cumplir con los criterios [17].

3.3.5 Mezclado

En esta etapa se deben tener en cuenta varios criterios que ya se habían mencionado antes, uno de ellos fue el método VIKOR para seleccionar la mejor alternativa.

A la hora de aplicar este método, se obtuvo que el ácido fosfórico en una composición del 85% es la mejor alternativa que se ajusta a los requerimientos seleccionados para las fibras de poliéster, asimismo esta sustancia logra recuperar y mejorar las condiciones del poliéster para la posterior elaboración del aislante térmico [18].

Por otro lado, otro criterio mencionado, hace referencia a la utilización de otros agentes que se incluirán en la mezcla como los silanos y peróxidos.

- Los silanos son compuestos químicos que funcionan de manera eficaz en los aislantes puesto que estos se utilizan a menudo como agentes de acoplamiento, por tanto, se incluirán en el proceso de mezclado con el fin de lograr en el poliéster un compuesto de alta resistencia y durabilidad [71].
- Los peróxidos también se incluirán en la mezcla ya que estos se utilizan generalmente en la industria como acelerantes, activadores, catalizadores, reticulantes, agentes de curado, endurecedores, iniciadores e impulsores, además estos ayudan en la formación de resinas poliméricas, como el poliéster y la silicona, para hacer fibra de vidrio, aislantes y otros productos [72].

Este proceso se llevara a cabo en un tanque mezclador, se requiere disolver todos los agentes en un mismo proceso para que estos queden fijos en las fibras textiles de poliéster.

Por tanto, según lo mencionado anteriormente se deben tener en cuenta varios criterios para el pretratamiento de las fibras, uno de ellos radica en la cantidad de silano y peróxido que se empleara en el pretratamiento, por esto, se tuvo en cuenta que para 10 Kg/h de material textil, solo se utilizara una cantidad de 7% de silano y 12% de peróxidos [73], adicionalmente se debe tener en cuenta que existen varios peróxidos orgánicos que sirven como activadores, por ende, para el proyecto la sustancia más viable es el peróxido de benzoilo en concentración líquida, es muy fácil de manejar y se disuelve fácilmente, la selección de este se da gracia a que es uno de los peróxidos que por más tiempo ha sido empleado en el poliéster [74].

3.3.6 Lavado

Se realizará con el fin de eliminar residuos provenientes del mezclado, se utilizara agua destilada dado que la manera de obtención de este es fácil y económica, además se utilizaran en poca cantidad [17].

Para este proceso se utilizará 4000 g/s de agua destilada en un tanque lavador como flujo de entrada a una temperatura de 20°C.

3.3.7 Secado

En este proceso se tiene en cuenta que las fibras vienen del proceso de lavado por ende representan alto contenido de humedad en su interior, por esta razón las fibras deben ingresar a un secador rotario a temperatura de 105 °C a una composición de aire de 2640 g/s [17], para que, por medio del movimiento continuo del tambor, las fibras pierdan humedad rápidamente. Se puede observar su respectivo balance a partir de las ecuaciones 13 para la determinación del flujo necesario de entrada.

Este tipo de secadores son los más utilizados en la industria gracias a que es un método rápido y de bajo costo unitario, por esta razón este tipo de secadores se emplearán en el proyecto.

3.4 Elaboración de aislante térmico

En este punto con el fin de elaborar el aislante térmico, se empieza con la transformación de las fibras textiles de poliéster, para ello se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

3.4.1 Moldeado

En el proceso de moldeado, se deben adquirir placas en el mercado que se puedan adecuar al tipo de prensa que se va a utilizar, por tanto, estas cumplen con las siguientes dimensiones 2m de largo x 0,6 de ancho y espesor de 15mm.

Por otro lado después de mantener el material en los moldes se adicionan 6000 g de adhesivo por cada 10000 g de material textil, esto con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del sólido final, en cuanto al adhesivo seleccionado se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica, esta indicó que el mejor adhesivo para elaboración de aislante térmico en el proyecto, era el "PVA del tipo D4, principalmente por ser este biodegradable, no cancerígeno (como la urea formaldehído) y soluble en agua, siendo esta última propiedad la más importante, pues nos facilita la obtención de una mezcla homogénea" [22].

3.4.2 Prensado

La prensa hidráulica, presiona y arrastra el tablero hasta conseguir el endurecimiento del aislante, este se debe dejar un tiempo para que la consistencia sea uniforme.

3.4.3 Cortado

El aislante es cortado de tal manera que quede uniforme y con buenas dimensiones.

3.4.4 Mecanizado

El aislante de poliéster se lija y se escuadra para que el tablero tenga una constitución más fina y homogénea [34].

3.5 Descripción del producto final

Partiendo del proceso propuesto y de la revisión de fuentes bibliográficas como: creación de un material compuesto a partir de desechos textiles, aplicable al aislamiento acústico y térmico, elaborado por Maria Camila Franco, Maria Camila Talero, Juanita Zapata y Martha Manrique Torres en la Pontificia universidad Javeriana en el año 2018; Evaluación de un sistema de medición de conductividad térmica en aislantes, elaborado por Daniel Quiroga Arcila y Jimena Vargas Encinales en la Fundación Universidad De América en el año 2018, se espera que el producto final posea conductividades térmicas entre $K= 0,033$ y $0,038 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ [75]. Dichas propiedades son comparables con aislantes térmicos comerciales como el poliestireno expandido ($0,038 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$) y fibra de vidrio ($0,033 \text{ } 038 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$) [71].

Por otra parte, análisis experimentales reportados en la literatura sugieren que el producto final presentara coloración blanquecina, debido a la preferencia de pigmento en las camisetas posconsumo, adicionalmente es inoloro y de contextura rígida como se esperaba que fuera.

3.6 Usos del aislante obtenido

Como se ha mencionado su principal función es el ahorro energético, para la regulación del calor, su versatilidad radicaré en el formato que sea construido, podrá ser utilizado en la elaboración de placas, paneles, rollos, entre otros y las industrias donde se requiere el material, por ejemplo, en laboratorios, centros comerciales, almacenes, bodegas y muchos más [76].

3.7 Equipos

Los equipos que se seleccionaron se utilizaron para procesar 10 Kg/h de camisetas posconsumo.

3.7.1 Trituradora tradicional

El proceso de trituración de los residuos se realiza mediante la maquina trituradora de residuos textiles modelo MS – 900, sus principales características son, capacidad de producción de 100-2000 Kg/h, es automática, su voltaje es de 380 V y cuenta con dimensiones de 3200x1000x1150mm, en la figura 11 se muestra el modelo de trituradora de residuos textiles.

Figura 11

Maquina trituradora de residuos textiles.



Nota. La figura representa una trituradora de residuos textiles. Tomado de: Alibaba.com “Máquina trituradora de residuos textiles, bajo consumo de energía, para triturar tela”, [En línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/low-energy-consumption-waste-textile-shredder-machine-for-shredding-fabric-60808162390.html> [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.2 Desfibrador

El proceso de desfibrado se realiza mediante la maquina trituradora de doble eje modelo 500 de marca DETE, sus principales características son, capacidad de producción de 2500 Kg/h, es manual, su voltaje es manual y cuenta con dimensiones personalizadas, en la figura 12 se muestra el modelo de trituradora de doble eje.

Figura 12

Maquina trituradora de residuos textiles de doble eje.



Nota. Trituradora de doble eje. Tomado de: Alibaba.com “Mini máquina trituradora de plástico, trituradora de doble eje, en venta” [En línea]. Disponible: Mini Máquina Trituradora De Plástico,Trituradora De Doble Eje,En Venta - Buy Industrial Recycling Lump Bullion Blocks Shredder Machine,Plastic Shredder Recycling Machine,Waste Scrap Metal Shredder Recycling Machine Product on Alibaba.com [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.3 Mezclador

El proceso de mezclado se realiza mediante un tanque mezclador modelo EW-MIX101 de marca EWATER, sus principales características son, capacidad de producción de 500

L, el rango de velocidad es de 1-139 r.p.m., soporta pesos de 300 Kg, su voltaje es de 220V/380V, en la figura 13 se muestra el modelo de tanque mezclador.

Figura 13

Mezclador agitador de tanque



Nota. Tanque mezclador. Tomado de: Alibaba.com “Mezclador de agitador de tanque químico eléctrico Industrial con tanque de acero inoxidable para líquido” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-electric-chemical-tank-agitator-mixer-with-stainless-steel-tank-for-liquid-1600109689141.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_of_fer.d_image.6c23260cQ2iDPN [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.4 Lavado

El proceso de lavado se realiza mediante un tanque lavador modelo SS-600 de marca BIRANDE, sus principales características son, potencia de 2,2 Kw, soporta pesos de 400 Kg, su tamaño 1200*950*700mm, en la figura 14 se muestra el modelo de una lavadora.

Figura 14

Tanque de lavado



Nota. Paño de lavado de ropa industrial. Tomado de: Alibaba.com “Paño de lavado de ropa industrial, deshidratación, precio de fábrica, barato” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-electric-chemical-tank-agitator-mixer-with-stainless-steel-tank-for-liquid-1600109689141.html?Spm=a2700.galleryofferlist.normal_of_fer.d_image.6c23260cq2idpn [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.5 Secado

El proceso de secado se realiza mediante un tanque lavador de marca ZHENGAN, sus principales características son, voltaje 220 V/380 V, energía 5,5 Kw, en la figura 15 se muestra el modelo de una secadora de tambor rotatorio.

Figura 15

Secador de tambor rotatorio



Nota. Secador de tambor rotatorio. Tomado de: Alibaba.com “Único Secador de Tambor Rotatorio” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/p-detail/%C3%9Anico-Secador-de-Tambor-Rotatorio-300008832171.html?Spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.5ad14bd1o2nvek [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.6 Prensado

El proceso de prensado se realiza mediante una prensa con las siguientes condiciones, marca TAILI, voltaje 220V/380V, Dimensión (L*W*H) 800*1600*2200, Motor de la potencia (Kw): 3,3 Kw en la figura 16 se muestra el modelo de una prensa.

Figura 16

Prensa Hidráulica



Nota. Prensa Hidráulica. Tomado de: Alibaba.com “JIS-placa de acero al carbono S45C, precio para Base de molde o molde de plástico” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/electric-manual-hydraulic-press-small-gantry-press-for-sale-1600069569294.html?Spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.51bbc50fvqd9f3 [Acceso: Agosto, 27, 2021]

3.7.7 Cortado

El proceso de cortado se realiza mediante una prensa con las siguientes condiciones, marca TAILI, voltaje 220V/380V, Dimensión (L*W*H) 800*1600*2200, Motor de la potencia (Kw): 3,3 Kw en la figura 17 se muestra el modelo de una prensa.

Figura 17

Cortador de aislante térmico



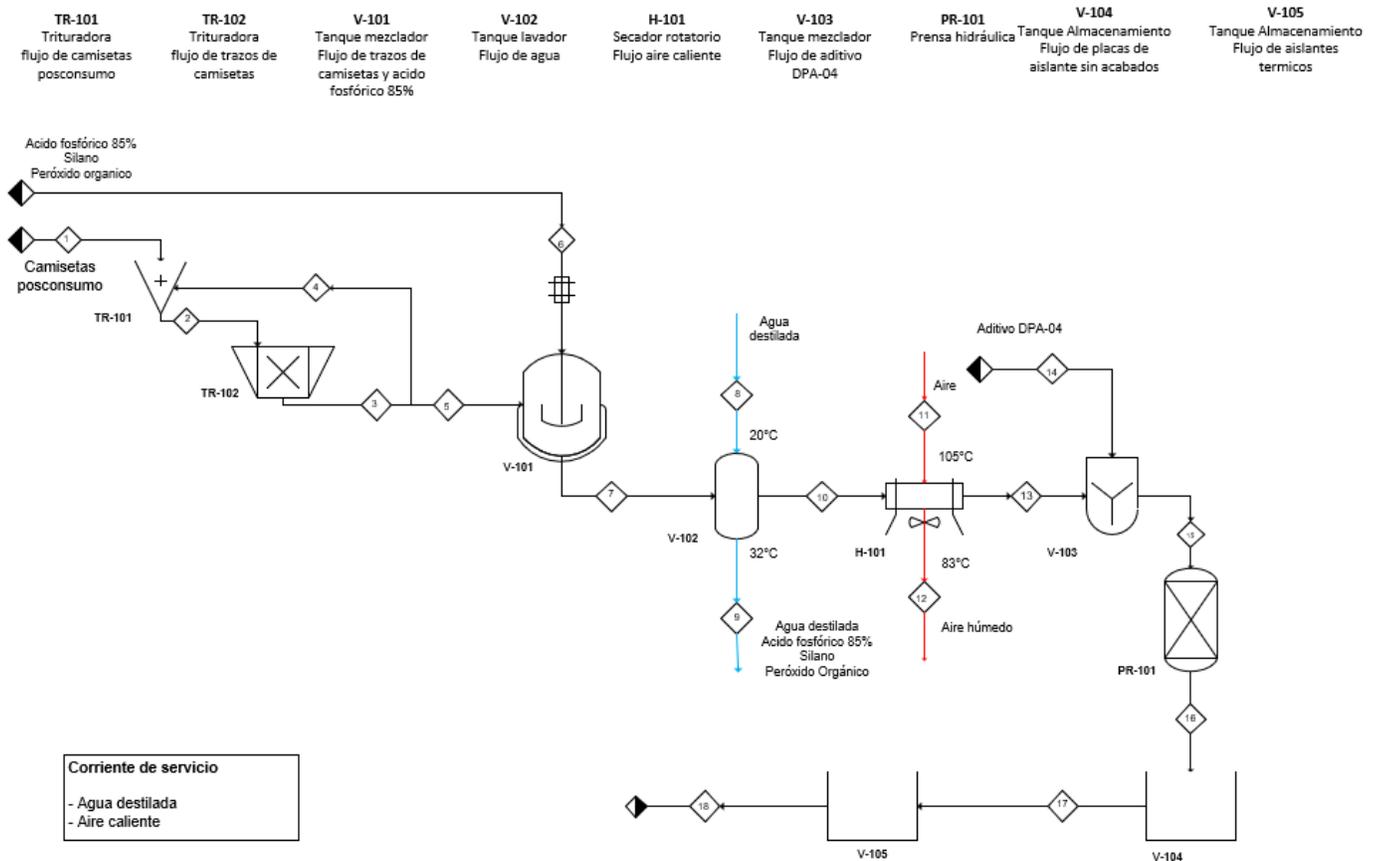
Nota. Cortador térmico. Tomado de: pagina “Alibaba.com” [En línea]. Disponible Cuchillo Caliente De Poliestireno, Cortador Térmico De Mano - Buy Hot Knife Eps Foam Cutter, Hot Knife Styrofoam Cutter, Handled Thermo Cutter Product on Alibaba.com [Acceso: Octubre, 31, 2021]

3.8 Desarrollo de la propuesta de diseño del proceso

A continuación en la figura 18 se muestra el diagrama de proceso de flujo propuesto a partir de la revisión bibliográfica para tratar 10 Kg/h de camisetas posconsumo

Figura 18

Diagrama PFD proceso elaboración aislante térmico



Nota. Diagrama PFD elaboración de aislante térmico.

El proceso propuesto es por lotes debido a los tiempos que se requieren en la parte de moldeado y prensado.

3.9 Balance de materia

Este balance se realizó con base a procesar 10 Kg/h de camisetas posconsumo para la producción de aislante térmico, esto se evidencia en la (tabla 15).

Tabla 15

Balance de masa del proceso

componentes	corriente 1	corriente 2	corriente 3	corriente 4	corriente 5	corriente 6	corriente 7	corriente 8	corriente 9
Poliéster	9250	9250	9250	340	8910	-	8910	-	-
ácido fosfórico	-	-	-	-	-	4215	4215	-	4164,42
silano	-	-	-	-	-	623,7	623,7	-	616,22
peróxidos	-	-	-	-	-	1069,2	1069,2	-	1056,37
agua destilada	-	-	-	-	-	-	-	4000	2120
aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DPA-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
residuos	750	750	750	40	710	-	710	-	701,48
Total	10000	10000	10000	380	9620	5907,9	15527,9	4000	8658,49
T(°C)	15	22	28	28	28	20	50	20	32
componentes	corriente 10	corriente 11	corriente 12	corriente 13	corriente 14	corriente 15	corriente 16	corriente 17	corriente 18
Poliéster	8910	-	-	8910	-	8910	8910	8910	8910
ácido fosfórico	50,58	-	-	50,58	-	50,58	50,58	50,58	50,58
silano	7,48	-	-	7,48	-	7,48	7,48	7,48	7,48
peróxidos	12,83	-	-	12,83	-	12,83	12,83	12,83	12,83
agua destilada	1880	-	1354	526,40	-	526,40	526,40	526,40	526,40
aire	-	2640	2640	-	-	-	-	-	-
DPA-04	-	-	-	-	600	600	600	600	600
residuos	8,520	-	-	8,52	-	8,52	8,52	8,52	8,52
Total	10869,41	2640	3993,6	9515,81	600	10115,81	10115,81	10115,81	10115,81
T(°C)	40	105	83	32	20	25	65	30	30

Nota: La tabla explica detalladamente el flujo de cada corriente con su respectiva temperatura.

Según la tabla elaborada, se evidencia las composiciones de cada corriente manejadas en gramo por hora; al inicio del proceso NO se ve reflejado un cambio de composición debido a que las camisetas posconsumo son transformadas físicamente, por otro lado, al agregar en el tanque agitador ácido fosfórico al 85% se obtiene una separación y limpieza profunda del poliéster en los retales de camiseta posconsumo, las cuales al agregar peróxido orgánico y silano aumentan su endurecimiento e impermeabilización respectivamente, luego con agua destilada se eliminan los excesos de reactivo para pasar las fibras al horno rotatorio, que por medio del flujo de aire en el interior elimina el exceso de humedad, este proceso se evaluó mediante el balance de materia en el secador, al no haber obtenido referentes del flujo de aire en la entrada, se calculó a partir del porcentaje de extracción de agua que arrojó un resultado del 72% y con el balance de energía se calculó la temperatura de salida de la corriente de aire con un valor de 38 °C, posteriormente se adiciona 6000 g de adhesivo para prensar y fijar el aislante, el cual se corta y se pule para sacar a la venta. A continuación, se demuestra el método matemático del balance de material realizado para hallar el flujo de aire necesario para sacar.

Ecuación 13

Aplicación de la ecuación balance de masa en el secador

$$m_{10} + m_{11} = m_{12} + m_{13}$$

Nota. Aplicación de la ecuación fundamental del balance de masa y energía.

Ecuación 14

Ecuación de balance para materia seca

$$m_{10} \dot{m}_{sc} = m_{13} \dot{m}_{sc}$$

Nota. Aplicación de la ecuación fundamental del balance de masa y energía para lamateria seca.

Ecuación 15

Ecuación de balance de materia para agua y aire

Agua

$$m_{10} \dot{m}_{h2o} = m_{12} \dot{m}_{h2o} + m_{13} \dot{m}_{h2o}$$

Arie

$$m_{11a} = m_{12a}$$

Nota. Aplicación de la ecuación fundamental del balance de masa y energía para el aguay aire que ingresan.

Ya mencionado anterior mente se sabe que se extrajo el 72% de agua de la masa, entonces:

Ecuación 16

Aplicación de la ecuación para el balance de materia.

$$\begin{aligned}1880\text{g/s} &= m_{13'}\text{h}_2\text{o} + 0,72(1880\text{g/s}) \\1880\text{g/s} - 1353,6\text{g/s} &= m_{13'}\text{h}_2\text{o} \\m_{13'}\text{h}_2\text{o} &= 526,4\text{g/s}\end{aligned}$$

Nota. Aplicación de la ecuación fundamental del balance de masa y energía para el agua y el aire que ingresan.

Conociendo que el valor por tablas psicométricas de la bibliografía consultada se conoce que el valor de la humedad relativa es de 0.5113 g h₂o /gas.

De esta forma se halló la masa de aire :

Ecuación 17

Aplicación de la ecuación para el balance de materia para el flujo de aire.

$$m_{12_a} = \frac{1353,6\text{g/s}}{0,51136} = 2640\text{g/h}$$

Nota. Aplicación de la ecuación fundamental del balance de masa y energía para el aire.

De este modo se pudo encontrar el balance para la propuesta de proyecto elaboración de aislante térmico.

3.10 Consumo energético

Se tuvo en cuenta el tiempo de operación de cada maquinaria para realizar las respectivas operaciones y el consumo de cada equipo; para calcular el valor mensual de consumo, se manejó un valor de \$529.25 Kw/h valor unitario definido por la empresa Celsia de Colombia S.A, compañía que presta el servicio de energía eléctrica en la ciudad de Bogotá. Estos datos se exponen en la (tabla 16) que evidencia el consumo mencionado anteriormente por los equipos.

Tabla 16

Consumo energético del proceso

EQUIPO	CONSUMO EQUIPO (Kw)	TIEMPO DE OPERACIÓN DIARIO (h)	CONSUMO DIARIO (Kw/h)	CONSUMO MENSUAL (Kw/h)	COSTO DEL SERVICIO EN (COP)
Trituradora	0,38	8	3,04	91.2	\$48.264
Trituradora	3,728	8	29,824	894.72	\$473.530
Tanque mezclador	0,55	7.5	4,125	123.75	\$65.494
Tanque lavador	1,5	8	12	360	\$190.530
Prensa hidráulica	3,3	18	59,4	1782	\$943.123
Secador	4	10	40	1200	\$635.100
				TOTAL DE LA SUMA DE LOS COSTOS (COP)	\$ 2.356.041

Nota. Costo asociado al consumo energético de los equipos, para la producción del aislante térmico.

4. COMPARACIÓN DE AISLANTE DE POLIÉSTER Y AISLANTE DE FIBRA DE VIDRIO

En este capítulo se realizará la comparación del poliéster con respecto a la fibra de vidrio en términos de su capacidad de retener el calor, para esto se realizó una investigación bibliográfica que indicaba la conductividad térmica de juntos materiales, además de las propiedades mecánicas que presentan estos materiales.

4.1 Propiedades mecánicas

Como se evidencia en la (tabla 17), las fibras de poliéster y las fibras de vidrio tienen varias propiedades mecánicas, según la revisión bibliográfica se encontraron algunas, como [77]:

Tabla 17

Propiedades físicas y mecánicas del poliéster y la fibra de vidrio.

Material	Densidad (g/cm ³)	Fuerza de tensión (mpa)	Módulo de elasticidad (gpa)	Alargamiento a la rotura (%)
Fibra de vidrio	2,44	280-1200	10-18	10-50
Poliéster	1,38	3310	68,9	4,8

Nota. La tabla es una adaptación de la información encontrada respecto a las propiedades mecánicas y físicas del material. Tomado de: repositorio universidad de Cartagena “Caracterización de propiedades mecánicas de fibras naturales para uso en concretos hidráulicos”, [en línea]. Disponible: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/12002?locale-attribute=es>

4.2 Conductividad térmica

En la (tabla 18) se observa la conductividad del poliéster y la fibra de vidrio.

Tabla 18

Conductividad térmica del poliéster y la fibra de vidrio

Material	Conductividad térmica(W/(m·K))
Fibra de vidrio	0,035
Poliéster	Entre 0, 033 y 0,038

Nota. La tabla es una adaptación de la información encontrada en dos documentos respecto a la conductividad térmica que representa el poliéster y la fibra de vidrio. Tomado de: Repositorio Universidad de Cartagena “caracterización de propiedades mecánicas de fibras naturales para usos en Concretos hidráulicos”. Tomado de: Repositorio Pontificia Universidad Javeriana “Creación de un material compuesto a partir de desechos textiles, aplicable al aislamiento acústico y térmico” [En línea]. Disponible: <https://n9.cl/3urfn>, Disponible: <https://n9.cl/udluf> [Acceso: Oct. 31, 2021]

Como se puede observar en la tabla 18, tanto el poliéster como la fibra de vidrio cuentan con un coeficiente bastante bajo y parecido, por lo cual, ambos materiales aíslan el calor con casi la misma efectividad.

5. CONCLUSIONES

Al valorar las camisetas posconsumo como una opción por el cual se pueda obtener poliéster para implementarlo como aislante térmico, se logró caracterizar mediante la metodología empleada, un aislante con propiedades físicas y mecánicas alteradas, permitiendo mejorar dichas propiedades, haciendo que el material final presente resistencia a la transferencia de calor provocada por agentes externos.

Por medio del método VIKOR se determinó que la mejor técnica de separación del poliéster para este caso es el uso de ácido fosfórico al 85%, teniendo en cuenta bajo impacto ambiental y óptimo avance tecnológico, que se puede lograr en la ciudad de Bogotá, también es una de las opciones más económicas que se pueden encontrar en el mercado, es seguro en su manipulación y adicionalmente tienen un buen uso racional del agua.

Mediante el diagrama de flujo de bloques BFD y PDF, se pudo diseñar un proceso adecuado para la obtención del aislante térmico, con una opción de equipos específicos y una base matemática la cual se pudo determinar el flujo de aire necesario de 2640 g/h para poder extraer el 72% del agua de la masa.

Al comparar el aislante de poliéster el cual obtuvo una conductividad térmica entre 0,033 y 0,038 W/m K con uno comercial como es la fibra de vidrio que tiene una conductividad térmica de 0,035 W/m K, se puede evidenciar que ambos poseen una capacidad muy similar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. A. D. P. A. D. L. E. Unidos, «epa united states enviromental protection agency,» 2 07 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/duvoh6>. [último acceso: 20 08 2021].
- [2] Innovacion, «semana,» 20 02 2020. [en línea]. Available: <https://acortar.link/agohll>. [último acceso: 03 08 2021].
- [3] I. L. R.-t. Y. A. K. L.-s. V. A. Diaz, «el impacto ambiental que genera el proceso del denim,» *revista convicciones* , vol. 7, nº 13, pp. 6 - 13, 2021.
- [4] A. García, «evaluación ambiental de los productos textiles durante todo su ciclo de vida e introducción de estrategias de economía circular,» 06 2021. [en línea]. Available: https://oa.upm.es/68410/1/tfm_ana_garcia_frutos.pdf. [último acceso: 12 08 2021].
- [5] R. G. P. C. U. Y. P. V. M. Brañes-sanchez, «contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil,» 10 09 2018. [en línea]. Available: <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/download/1369/1109>. [último acceso: 3 09 2021].
- [6] H. A. Cárdenaz, «asobancaria,» 2019. [en línea]. Available: <https://acortar.link/k57uqu>. [último acceso: 05 09 2021].
- [7] T. F. S., «repositorio universidad de coruña,» 2018. [en línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2183/21057..> [último acceso: 04 09 2021].
- [8] D. Moorhouse, «making fashion sustainable: waste and collective responsibility,» *one earth*, vol. 3, nº 1, pp. 17-19, 2020.
- [9] C. E. Caicedo, «repositorio universidad del rosario,» 02 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/zwtyvc>. [último acceso: 18 09 2021].
- [10] M. V. Garcia, «repositorio universidad distrital francisco jose de caldas,» 2018. [en línea]. Available: <https://acortar.link/gbvdar..> [último acceso: 7 09 2021].
- [11] D. A. A. J. M. P. A. Espinel, ««sector textil colombiano y su influencia en la economia del país,» *dialnet*, vol. 9, nº 13, p. 10, 2018.
- [12] F. Rodriguez, «fashion network,» 07 05 2020. [en línea]. Available: <https://acortar.link/jnxmcp>. [último acceso: 08 09 2021].
- [13] L. Mon, «topicos 2021,» 06 2016. [en línea]. Available:

- <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/351>. [último acceso: 11 09 2021].
- [14] G. Vitnik, «generación vitnik,» 06 08 2018. [en línea]. Available: <https://acortar.link/cx53dl>. [último acceso: 11 09 2021].
- [15] O. G. Sara, «repositorio universidad pontificia bolivariana,» 2018. [en línea]. Available: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4053>. [último acceso: 12 09 2021].
- [16] D. A. A. C. A. H. H., «repositorio universidad catolica san pablo,» 2019. [en línea]. Available: <http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16384>. [último acceso: 11 09 2021].
- [17] L. E. M. M., «caracterización mecánica de compuestos poliéster/fibra de guadua y poliéster/fibra de guadua-vidrio,» *dialnet*, vol. 23, nº 3, pp. 344-348, 2018.
- [18] W. X. L. L. G. Y. Y. Z. Y. S. D. F. Shen, «enzymatic saccharification coupling with polyester recovery from cotton-based waste textiles by phosphoric acid pretreatment,» *elservier*, vol. 130, pp. 248-255, 2013.
- [19] R. J. S. J. M. R. S. H., «repositorio universidad central del ecuador,» 2019. [en línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19247>. [último acceso: 13 09 2021].
- [20] W. L. F. Y. D. L. Saavedra, «repositorio institucional universidad nacional pedro ruiz gallo,» 2019. [en línea]. Available: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3998>. [último acceso: 15 09 2021].
- [21] J. B. P. I. C. H. Y. H. I. S. P. Zaruma, «los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión,» *revista de la facultad de ciencias químicas*, nº 19, pp. 38-47, 2018.
- [22] L. L. F. E., «repositorio universidad del bio bio,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/pfttnp>. [último acceso: 16 09 2021].
- [23] L. H. B. E. M. N. C. Abanto, «repositorio institucional de la universidad nacional del santa,» 2016. [en línea]. Available: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/uns/2641>. [último acceso: 17 09 2021].
- [24] M. V. Rodriguez, «repositorio institucional universidad de extremadura,» 2016. [en línea]. Available: <https://dehesa.unex.es/handle/10662/4159>. [último acceso: 19 09 2021].
- [25] A. I. D. Castillo, «repositorio universidad tecnica del norte,» 2019. [en línea]. Available: <https://acortar.link/zszow2>. [último acceso: 21 09 2021].

- [26] A. T. Lorenza, «repositorio universidad de ciencias y artes de chapas,» 2017. [en línea]. Available: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/696>. [último acceso: 21 09 2021].
- [27] I. D. F. Unam, «instituto de fisica unam,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/obf2cu>. [último acceso: 23 09 2021].
- [28] M. P. Cano, «repositorio universidad politecnica de madrid,» 13 06 2017. [en línea]. Available: http://oa.upm.es/47071/1/tfg_palomo_cano_marta.pdf. [último acceso: 23 09 2021].
- [29] S. Ventilación, «siber ventilación,» 2016. [en línea]. Available: <https://acortar.link/jwwtti>. [último acceso: 25 09 2021].
- [30] M. B. J. S. M. M. & A. J. A. Canto., «aislante térmico a base de materiales organicos,» *revista de iniciación científica*, vol. 4, pp. 48-51, 2018.
- [31] J. C. Labant, «repositorio abierto de la universidad de cantabria,» 05 2018. [en línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10902/13702>. [último acceso: 26 09 2021].
- [32] I. F. M. Y. J. S. Valencia, «repositorio institucional universidad autónoma de occidente,» 2014. [en línea]. Available: <https://acortar.link/aordxy>. [último acceso: 25 09 2021].
- [33] A. I. R. B., «repositporio universidad austral de chile,» 2015. [en línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/bmfcir594a/doc/bmfcir594a.pdf>. [último acceso: 26 09 2021].
- [34] R. E. R. E. O. R. P. R., «repositorio academico upc,» 2018. [en línea]. Available: <https://n9.cl/yrdgo>. [último acceso: 28 09 2021].
- [35] J. M. P. M. M. H. Y. M. G. L. M. M. R., ««conductividad térmica de compuestos tipo sándwich usados en la industria de la construcción,» *facultad de ciencias, universidad nacional de ingeniería, lima peru*, vol. 31, nº 1, 2021.
- [36] O. I. D. P. Y., «medidas, el sistema internacional de unidades (si),» españa: 9a edicion, 2019. [en línea]. Available: <https://acortar.link/e0i2gu>. [último acceso: 28 09 2021].
- [37] P. S. Seguí, «ovacen,» 2019. [en línea]. Available: <https://ovacen.com/materiales-aislantes/>. [último acceso: 28 09 2021].
- [38] K. Y. B. Y. N. C. C. M., «repositorio universidad laica vicente rocafuerte de guayaquil,» 2019. [en línea]. Available: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3178/1/t-ulvr->

2782.pdf. [último acceso: 01 10 2021].

- [39] Termosistemas, «termosistemas "tu portal de refrigeracion en internet",» termosistemas,, 2021. [en línea]. Available: <http://www.termosistemas.com.ar/sitio/vernota.php?nota=247&cat=1>. [último acceso: 05 10 2021].
- [40] J. V. E. D. Q. A., ««repositorio institucional fundacion universidad de america,» 16 08 2018. [en línea]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6972>. [último acceso: 06 10 2021].
- [41] A. M. E. S., «repositorio institucional universidad distrital francisco jose de caldas,» 2017. [en línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/12979>. [último acceso: 10 10 2021].
- [42] I. C. C. L. H. N. D. F. R.-s. E. & D. L. M. F. R. Valverde, «development of new insulation panels based on textile recycled fibers,» *elservier*, vol. 4, nº 1, pp. 139-146, 2013.
- [43] J. L. H.-a. E. F. E.-m. A. R. López., «comparison of assistive orthopedic products using the pugh matrix. A universal design and ergonomics approach,» *culcyt: cultura científica y tecnológica*, vol. 17, nº 2, 2020.
- [44] J. Á. C. L. C. I. B. P., «repositorio institucional universidad distrital francisco jose de caldas,» 2018. [en línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14181>. [último acceso: 11 10 2021].
- [45] R. Sejzer., «calidad total,» 14 10 2016. [en línea]. Available: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>. [último acceso: 12 10 2021].
- [46] M. F. V., «repositorio institucional universidad de sevilla,» 2015. [en línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5618/fichero/proyectofinal2.pdf>. [último acceso: 13 10 2021].
- [47] L. & P. P. W. A. Ponce, ««decisión multicriterio en la selección de proyectos de desarrollo local para fortalecer la toma de decisiones,» *serie científica de la universidad de las ciencias informaticas*, vol. 14, nº 2, pp. 133-147, 2021.
- [48] V. Y. Piqueras, «universidad politecnica de valencia,» 27 11 2018. [en línea]. Available: <https://acortar.link/hnnfgu>. [último acceso: 10 12 2021].
- [49] B. M. M. Y. M. R.garcía, «aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al

análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte,» *pensamiento matematico*, vol. 6, nº 2, pp. 27-45, 2016.

- [50] H. Arsham, «herramientas para el analisis de decision: analisis de decisiones riesgosas,» *espejo para america latina*, 2015. [en línea]. Available: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640s/spanishp.htm>. [último acceso: 12 12 2021].
- [51] J. C. R. Y. R. B. S. L., «repositorio digital de universidad internacional sek,» 08 2018. [en línea]. Available: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3109>. [último acceso: 13 12 2021].
- [52] D. D. P. R. J. F. G. M. Y. M. L. R. M. F. S. G., «método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales,» *prospectiva*, vol. 15, nº 2, pp. 7-12, 2017.
- [53] D. F. N. S., «repositorio institucional universidad distrital francisco jose de caldas,» 2018. [en línea]. Available: <https://acortar.link/b1hp3u>. [último acceso: 25 10 2021].
- [54] Elsevier, «environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles,» *elsevier*, vol. 251, 2019.
- [55] J. L. M. L. L. M. Y. Z. C. G. Y. J. L. Z. Yan., «deeper insight into hydrolysis mechanisms of polyester/cotton blended fabrics for separation by explicit solvent models,» *elsevier*, vol. 154, pp. 596-605, 2020.
- [56] M. A. H. Balcazar., «repositorio universidad de eia,» 2020. [en línea]. Available: <https://acortar.link/plltqt>. [último acceso: 14 12 2021].
- [57] M. R. V. A. Y. M. A. C. Soria., «repositorio universidad tecnica de cotopaxi,» 2018. [en línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4512>. [último acceso: 14 12 2021].
- [58] C. T. Ambiental, «universidad industrial de santander,» 07 2012. [en línea]. Available: <https://acortar.link/lldc wd>. [último acceso: 14 12 2021].
- [59] T. P. C. Y. V. B. Maria, «repositorio biblioteca udec,» 2016. [en línea]. Available: <https://acortar.link/12picy>. [último acceso: 14 12 2021].
- [60] W. Ureta, «repositorio academico de la universidad de chile,» 2019. [en línea]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170219>. [último acceso: 14 12 2021].
- [61] D. A. Mosquera, «repositorio institucional pontificia universidad javeriana,» 22 11 2019. [en

- [61] línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/46139>. [último acceso: 14 12 2021].
- [62] S. S. W. H. Y. Z. Y. C. Ling, «separation of waste polyester/cotton blended fabrics by phosphotungstic acid and preparation of terephthalic acid,» *elsevier*, vol. 161, pp. 157-165, 2019.
- [63] R. Barberio, «repositorio universidad politecnica de cartagena,» 2019. [en línea]. Available: <https://acortar.link/4ys30s>. [último acceso: 14 12 2021].
- [64] W. X. E. A. L. L. E. A. G. Y. E. A. Y. Z. E. A. S. D. E. A. F. Shein., «enzymatic saccharification coupling with polyester recovery from cotton-based waste textiles by phosphoric acid pretreatment,» *elsevier*, vol. 130, n° 248-255, 2013.
- [65] «supercritical water hydrolysis: a green pathway for producing low-molecular-weight cellulose,» *royal society of chemistry*, vol. 18, pp. 6515-6525, 2016.
- [66] V. Y. M. G., «repositorio universidad politecnica salesiana,» 2017. [en línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14370/4/ups-ct007043.pdf>. [último acceso: 14 12 2021].
- [67] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/kun6tq>. [último acceso: 14 12 2021].
- [68] C. Ncu-uaesp, «unidad administrativa especial de servicios publicos,» 2021. [en línea]. Available: https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_modelo_de_aprovechamient. [último acceso: 28 10 2021].
- [69] C. Ferrero, «el pais,» s moda, 22 08 2017. [en línea]. Available: <https://n9.cl/hkpxd>. [último acceso: 30 10 2021].
- [70] M. J. M. Portero, «universidad politecnica de valencia,» 2020. [en línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/146536>. [último acceso: 25 10 2021].
- [71] Momentive, «momentive,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/ihhukj>. [último acceso: 25 10 2021].
- [72] Chemicalsafetyfacts.org, «chemicalsafetyfacts.org,» 2021. [en línea]. Available: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/sobre-este-sitio-web/>. [último acceso: 27 10 2021].
- [73] S. S. C. E. C. X. L. Y. C. S. K. L. K. Subramanian, «environmental life cycle assessment of

textile bio-recycling – valorizing cotton-polyester textile waste to pet fiber and glucose syrup,» *elsevier*, vol. 161, 2021.

- [74] E. A. T. C, «repositorio institucional universidad nacional pedro ruiz gallo,» 2016. [en línea]. Available: <https://acortar.link/hodxze>. [último acceso: 03 11 2021].
- [75] M. C. T. B. J. Z. M. C. F. C., «repositorio institucional pontificia universidad javeriana,» 06 2020. [en línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10554/53206>. [último acceso: 31 10 2021].
- [76] D. L. P. A. S. A. P. T. G. & F.-m. P. M. N. Á, «comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación,» *elsevier*, vol. 73, p. 561, 2021.
- [77] Y. E. E. Y. L. A. Forero, «repositorio universidad de cartagena,» 2020. [en línea]. Available: <https://acortar.link/lwxyvr>. [último acceso: 12 11 2021].
- [78] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/r3a6uq>. [último acceso: 10 11 2021].
- [79] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/va57wx>. [último acceso: 12 11 2021].
- [80] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/jhrjhw>. [último acceso: 11 11 2021].
- [81] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/bu4unm>. [último acceso: 11 11 2021].
- [82] Alibaba.com, «alibaba.com,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/hstkee>. [último acceso: 11 11 2021].
- [83] Elempleo, «elempleo,» 2021. [en línea]. Available: <https://acortar.link/ecdxca>. [último acceso: 11 11 2021].
- [84] Indeed, «indeed,» 2021. [en línea]. Available: <https://co.indeed.com/career/operario-producci%c3%b3n/salaries>. [último acceso: 11 11 2021].

Anexo 1
Costos operacionales

En esta parte del proyecto se determinaron todos los costos que conllevan la producción del aislante térmico a partir del procesamiento de 10 Kg/h de camisetas posconsumo, desde los equipos requeridos, hasta la mano de obra.

Costos equipos

Hace referencia al costo de los equipos empleados para la producción de este, en la (tabla 19) se encuentran los resultados obtenidos .

Tabla 19

Precio de los equipos

Equipo	Marca	Modelo	Precio unitario (cop)	Cantidad	Precio total (cop)	Fuente
trituradora	ACC	JY-251	\$387.900	1	\$387.900	Alibaba [78]
tanque mezclador	EWATER	EW-MIX101	\$5'810.742	1	\$5'810.742	Alibaba [79]
tanque lavador	BIRANDE	SS-600	\$4'972.878	1	\$4'972.878	Alibaba [80]
prensa hidráulica	Taili	Y41-16T	\$4'654.800	1	\$4'654.800	Alibaba [81]
secador	ZHENGHAN		\$7'758.000	1	\$7'758.000	Alibaba [82]
TOTAL					\$26'691.327	

Nota. Precio de los equipos necesarios para la elaboración del aislante térmico a base de camisetas posconsumo.

La mayoría de estos equipos tienen una vida útil de 3 años con sus respectivos mantenimientos.

Costos Materia prima

Además de los equipos y el gasto energético, se tiene en cuenta la materia prima que se utiliza para la producción del aislante, el textil a ser considerado un residuo y que su extracción será de rellenos sanitarios, donaciones o centros de acopio, no se le podría dar un valor agregado, por consiguiente, estos valores se expresan en la (tabla 20).

Tabla 20

Precio de la materia prima

Producto	Cantidad (kg)	Precio unitario (cop)	cantidad	Precio total (cop)
Ácido fosfórico 85%	1,8	\$53.800	3	\$161.400
Silano	2	\$69.890	2	\$139.780
Peróxido orgánico	5	\$1'941.400	1	\$1'941.400
Adhesivo PVA-D4	1	\$11.648	5	\$58.240
			Total suma de los precios	\$2'300.820

Nota. Costo de la materia prima para la producción del aislante térmico.

Personal Operativo

Para este proceso se requiere personal calificado para realizar procesos de carga y descarga, ensamblaje, corte y limpieza de los equipos al finalizar la jornada laboral que consta de 8 horas de domingo a domingo con un día de compensatorio [83]. Con un salario básico de 1 '300.000 más las prestaciones reglamentarias por ley, asimismo el pago de horas extras si son necesarias [84]. Se evidencia el total de la nómina en la (tabla21).

Tabla 21

Nómina del empleado para el proceso de elaboración de aislante térmico

Básico		Prestaciones			
<i>Salario básico</i>	<i>Auxilio de transporte</i>	<i>Salud (8.5%)</i>	<i>Pensión (12%)</i>	<i>ARL I (0.512%)</i>	<i>Hora extras</i>
\$1'300.000	\$106.454	\$110.500	\$156.000	\$6.656	\$31.000
Total					\$1'679.610

Nota. Salario mensual de un empleado.

Costo total

En la tabla 21 se puede apreciar la producción mensual del aislante térmico, el cual se evidencia los costos de materia prima, gasto energético, equipos, mano de obra, entre otros, que se consideran costos fijos, sin embargo, teniendo en cuenta el mantenimiento de los equipos que equivale al 2% del valor total del equipo que se realizó trimestralmente para mantener el buen funcionamiento de estos.

Tabla 22

Costo mensual para la elaboración de aislante térmico

SUBTOTAL	COSTO TOTAL (COP)
Maquinaria y equipo	\$741.425
Mantenimiento	\$44.485
Lote	\$3'750.000
Gasto energético	\$2'307.777
Materia prima	\$2'300.820
Mano de Obra	\$1'679.610
Total	\$10'824.117

Nota. El costo total mensual de cantidad de aislante térmico.

Se estima que tendrá un costo total de casi 10 millones mensualmente para la elaboración de aislante térmico con 10 Kg/h de camisetas posconsumo.

- Se recomienda evaluar otros métodos multicriterio para la toma de decisiones, afin de determinar su influencia para la selección de la ruta de separación del poliéster.

Anexo 2

Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de residuos textiles

Tabla 23

Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de residuos textiles

Modelo	900	Características:	Totalmente automático
Corte de motor	5.5KW-8	Cutting thickness:	<5cm
Cinta transportadora de motor KW	1.5-4	Capacidad de Producción:	100-2000 Kg/h
Tensión de	380 v/50 hz	Peso:	760 kg
Triangular cinturón	B*2600mm	Type:	paper cutting machine
La capacidad de(Kg/h)	300-500		
Entrada Contenedor (mm)	1400*350		
Dimensión (mm)	3200 *1000*1200		

Nota. La tabla es una adaptación de la información encontrada respecto a las propiedades de la trituradora de residuos textiles. Tomado de: Alibaba.com “Máquina trituradora de residuos textiles, bajo consumo de energía, para triturar tela”, [En línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/low-energy-consumption-waste-textile-shredder-machine-for-shredding-fabric-60808162390.html> [Acceso: Oct. 31, 2021]

Anexo 3

Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de doble eje

Tabla 24

Ficha técnica y especificaciones de la trituradora de doble eje

Modelo	150 型	Marca	DETE
Herramienta de especificación	160*10	Capacidad de producción (Kg/h)	100 - 2500
Poder	3KW	Diseño del eje	Doble
Número de herramientas	15		
Reductor	K76		
Velocidad (r/min)	18-25		
Dimensiones (m)	0,7*0,4*0,8		

Nota. Trituradora de doble eje. Tomado de: Alibaba.com “Mini máquina trituradora de plástico, trituradora de doble eje, en venta” [En línea]. Disponible: Mini Máquina Trituradora De Plástico, Trituradora De Doble Eje, En Venta - Buy Industrial Recycling Lump Bullion Blocks Shredder Machine, Plastic Shredder Recycling Machine, Waste Scrap Metal Shredder Recycling Machine Product on Alibaba.com [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Anexo 4

Ficha técnica y especificaciones de tanque mezclador

Tabla 25

Ficha técnica y especificaciones del tanque mezclador

Artículo	Valor	Artículo	Valor
Material	Acero inoxidable 304 / SUS316L	Rango de velocidad del husillo (r.p. A m)	1r p m - 139r p m
Tipo de máquina	Industrial licuadora máquina mezcladora	Max. Capacidad de carga	500-4000L
Ámbito de aplicación	Químicas cosmética	Peso (KG)	300KG
Color	De acero verdaderos colores	Aplicación	Productos químicos de jabón de máquina de impresión
Ventaja	Fácil Control y larga vida de servicio		Cosméticos/pintura/jabón/champú
Mezcla de tipo	Eléctrico alimentado agitador	Lugar de origen	Jiangsu China
Tensión de	220V/380V	El nombre de la marca	EWATER
De la potencia (kW)	1.1KW	Dimensión (L * W * H)	1*1*1,2 m (depende de la capacidad)
Garantía	1 año	Servicio Local ubicación	Emiratos Árabes Unidos

Nota. Tanque mezclador. Tomado de: Alibaba.com “Mezclador de agitador de tanque químico eléctrico Industrial con tanque de acero inoxidable para líquido” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-electric-chemical-tank-agitator-mixer-with-stainless-steel-tank-for-liquid-1600109689141.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.6c23260cQ2iDPN [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Anexo 5

Ficha técnica y especificaciones de tanque lavador

Tabla 26

Ficha técnica y especificaciones del tanque lavador

Modelo	SS-500	Marca	BIRANDE
Diámetro del tambor (mm)	500	Peso	400kg
Motor de la potencia (KW)	1,5	Peso total (kg)	250
Velocidad de rotación (r/min)	1050		
Dimensiones totales (L * W * H mm)	1000 x 760 x 600		

Nota. Paño de lavado de ropa industrial. Tomado de: Alibaba.com “Paño de lavado de ropa industrial, deshidratación, precio de fábrica, barato” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-electric-chemical-tank-agitator-mixer-with-stainless-steel-tank-for-liquid-1600109689141.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_of_fer.d_image.6c23260cQ2iDPN [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Anexo 6
Ficha técnica y especificaciones de secador rotatorio

Tabla 27

Ficha técnica y especificaciones del secador rotatorio

Modelo	Φ 1,0x5,0	Heating type	Direct heating
Production Capacity (t/h)	0,5 - 1,2	Primary Moisture (%)	13
Power (KW)	4	Final moisture (%)	0,3
Rolling Speed (r/min)	0,6 - 6	Average Diameter (mm)	0,05
Installation Degree (°)	3 a 5	Bulk density of raw material (Kg/m ³)	800
Discharge Humidity	≤ 1,5%	Hot Air Volumen (Kg/h)	5400
Heating type	1400*350	Inlet Temperature (°C)	165
Processing capacity (Kg/h)	466	Outlet Temperature (°C)	42
Heat Source	Steam and electric heating	Loading efficiency (%)	6,3
revolution (rpm)	4	Gradient (m/m)	0,005
number of shoveling plate	24	dryer diameter (m)	1,5
dryer length(m)	12	Driving power (KW)	7,5

Nota. Secador de tambor rotatorio. Tomado de: Alibaba.com “Único Secador de Tambor Rotatorio” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/p-detail/%C3%9Anico-Secador-de-Tambor-Rotatorio-300008832171.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.5ad14bd1o2NvEk [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Anexo 7
Ficha técnica y especificaciones de prensa
hidráulica

Tabla 28

Ficha técnica y especificaciones de prensa hidráulica

Prensa hidráulica de bastidor en C	Y41-16T	Dimensión (L*W*H)	800*1600*2000
Nominal La fuerza (KN)	160	De regreso de la fuerza (KN)	2000
Tamaño de la Mesa (mm)		Numero de modelo	YQ41-200TL
De golpe (mm)	200	Bomba de aceite	HYTEK
Max de la altura de la apertura (mm)	400	Marca	Taili
Throke profundidad (mm)	150	Voltaje ((V)	220 / 380
Velocidad (mm/s)	30-18	Peso (Ton)	2,1
Velocidad de prensado (mm/s)	30-15	Motor de potencia (KW)	3,3
A velocidad (mm/s)	48-28	Fuente de alimentación	Hidraulica
Potencia Motor principal (KW)	4 - 2, 2	sistema hidraulico	Rexroth

Nota. Prensa Hidráulica. Tomado de: Alibaba.com “JIS-placa de acero al carbono S45C, precio para Base de molde o molde de plástico” [En línea]. Disponible: https://spanish.alibaba.com/product-detail/electric-manual-hydraulic-press-small-gantry-press-for-sale-1600069569294.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.51bbc50fvqd9f3 [Acceso: Agosto, 27, 2021]

Anexo 8
Ficha técnica y especificaciones de secador rotativo

TABLA 29

Ficha técnica y especificaciones de secador rotativo

Cuchillo caliente cortador de espuma de Los detalles	
Modelo de producto	KD-5H
Tensión de alimentación	230V/50Hz (110V/60Hz).
Potencia de entrada	190W
Funcionamiento intermitente	1/4 min.
Peso	0,4Kg
De longitud de cable	3,0 M
Tamaño	26*5*3,5 cm
Temperatura de hoja	Hasta 400 en segundos
Ajustable mando	16 pasos

Nota. Cortador térmico. Tomado de: pagina “Alibaba.com” [En línea]. Disponible Cuchillo Caliente De Poliestireno, Cortador Térmico De Mano- Buy Hot Knife Eps Foam Cutter, Hot Knife Styrofoam Cutter, Handled Thermo Cutter Product on Alibaba.com [Acceso: Octubre, 31, 2021]