



Universidad del Valle

Aprovechamiento de remanentes textiles resultantes de los procesos de producción en serie de prendas de vestir a nivel industrial de empresas tipo pymes del sur del valle del cauca

María Isabel Moreno Reyes

201623586 - 3350

Proyecto de grado para optar por el título de diseñador industrial

Director: Ph.D Byron Iram Villamil Villar

Universidad del Valle Sede Meléndez

Facultad de Artes Integradas

Departamento de Diseño Industrial

Cali, Valle del cauca

2022



Facultad de Artes Integradas

PROGRAMA ACADÉMICO DE DISEÑO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DEPARTAMENTO DE DISEÑO
PROGRAMA ACADÉMICO DE DISEÑO INDUSTRIAL

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

La estudiante MARIA ISABEL MORENO REYES identificado con Cédula de ciudadanía número 1.144.105.868 de Cali y código 201623586, presentó y aprobó su trabajo de grado titulado "APROVECHAMIENTO DE REMANENTES TEXTILES RESULTANTES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE DE PRENDAS DE VESTIR A NIVEL INDUSTRIAL DE EMPRESAS TIPO PYMES DEL SUR DEL VALLE DEL CAUCA", el cual fue aprobado por el siguiente jurado evaluador:

Jurado Diseñador:	PATRICIO GIL ZAPATA
Jurado Asesor:	DIEGO ALEJANDRO HERNÁNDEZ BARÓN
Jurado Experto:	LETY DEL PILAR FAJARDO CABRERA

Para constancia de la anterior, se firma en la ciudad de Santiago de Cali, el 11 de Octubre de 2022

BYRON IRÁM VILLAMIL VILLAR
Director del Proyecto

LETY DEL PILAR FAJARDO CABRERA
Vo. Bo. Directora del Programa Académico

JAVIER MAURICIO REYES VERA
Vo. Bo. Jefe Departamento de Diseño

Angélica María V.

Edificio E11 – Oficina 2000 – Ciudad Universitaria de Meléndez
Telefax [57-2] 321 23 75 – Apartado Aéreo 25360
Santiago de Cali – Colombia
fai.direccion.disenoidustrial@correounivalle.edu.co
<http://diseno.univalle.edu.co/>

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis profesores del departamento de Diseño que me brindaron el conocimiento y forjaron como profesional.

También quiero agradecer a Studio F Group y Tecno parques Sena por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación, trabajo de campo y comprobaciones, sin su apoyo no hubiese sido posible consolidar las evidencias y resultados necesarios para completar este proyecto de grado.

Por último, quiero agradecer a mi tío Fran y a mi madre quienes fueron un apoyo incondicional y estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar fuerzas y energía.

Muchas gracias a todos.

Índice de contenido

Acta de sustentación.....	2
Agradecimientos	3
Resumen	1
Índice de tablas	3
Índice de figuras.....	4
1. Introducción.....	7
2. Marco teórico	9
2.1 El mercado de producción textil y la postura del consumidor	9
2.2. Clasificación de la indumentaria en el mercado	9
2.3 Segmentación jerárquica de los procesos de producción de prendas	11
2.4. Programación digital computarizada (CAD) y simulación de creación de prendas	16
2.5. Producción de residuos textiles de la Industria tipo PYMES.....	18
2.6. Caracterización y categorización de residuos de la Industria Textil	18
2.7. Dificultades medio ambientales en los procesos de producción en serie de indumentaria textil	20
2.8. Teoría del método de cálculo de desperdicio	22
3. Estado de la técnica.....	23
3.1. Sistemas de reciclaje textil en el régimen industrial	23
3.2. Economía circular y el diseño ecológico en la industria de la confección textil	24
3.3.1. Paneles de Aislamiento sonoro en construcción.....	25
3.3.2. Paneles de Aislamiento Térmico	26
3.3.3. Proyecto DEMODÉ.....	26
3.3.4. Proyecto Flyknit.....	27
3.4 Empresas del sector manufacturero textil tipo PYMES del Valle del Cauca.....	28
3.5 Segmentación de empresas maquiladoras de prendas de vestir PYMES vallecaucanas y crecimiento anual de ventas	29
4. Trabajo de Campo	31
4.1. Descripción del caso de estudio.....	31
4.2. Selección del Caso de estudio.....	32
4.3. Análisis de las fases de elaboración de producto terminado en Studio F Group S.A.	32

4.3.1. Primera fase: Creación y Diseño	34
4.3.2. Segunda fase: Selección del material textil	34
4.3.3. Tercera fase:.....	36
Registro de plantilla/patrón	36
4.3.4. Cuarta fase:	37
Relajado de tela/unidad a producir	37
4.3.5. Quinta fase:	37
Corte mediante software/herramienta de corte manual.....	37
4.3.6. Sexta fase:	38
Recolección/ desecho de residuos textiles	38
4.3.7. Séptima fase:	40
Remanentes Seleccionados	40
5. Metodología de Diseño	42
5.1. Primera fase: Investigación	42
5.2. Segunda fase: Caso de estudio	42
5.3. Tercera fase: Investigación, trabajo de campo, procesos y remanentes	42
5.4. Cuarta fase: Análisis y clasificación de remanentes	43
5.5. Quinta fase: Caracterización, comprobación y análisis del poliéster ópalo	43
6. Problema de investigación	44
6.1. Planteamiento del problema	44
6.2. Pregunta Problematicadora.....	46
6.3. Justificación	46
7. Objetivos	49
7.1. Objetivo general	49
7.2. Objetivos específicos	49
8. Resultados.....	50
8.1. Caracterización de la tela poliéster	50
8.1.1. Espectroscopía Raman.....	50
8.1.2. Análisis termogravimétrico TGA/DSC.....	52
8.2. Producción de placas a partir de remanentes de poliéster ópalo	53
8.2.1. Acondicionamiento del molde y preparación del material.....	53
8.2.2. Obtención de placas fundidas por tratamiento térmico del material.....	53

8.3 Obtención de probetas tipo hueso para realización de ensayos de tensión en materiales plásticos según la norma ASTM-D638	57
8.4. Caracterización del material fundido	58
8.4.1. Determinación de la densidad	58
8.4.2. Resistencia a la tensión.....	59
8.4.3 Resistencia a la flexión a tres puntos	62
8.4.4. Costo de elaboración del material	66
9. Matriz de requerimientos y Determinantes	67
9.2. Accesorios o utensilios de cocina	68
9.3 Elementos de oficina	71
9.4 Marquetería	71
9.5 Azulejos para cocinas integrales	73
10. Discusión	74
11. Conclusiones y recomendaciones	76
12. Referencias	79
13. Anexos	84
13.1. Solicitud de trabajo de campo a SF group.....	84
13.2. Diploma de curso de Alturas Studio F. Group	85
13.3. Reporte de salida del material de Studio F. Group	86
13.4. Certificado del Comité de Ideas Tecnoparque SENA	87

Resumen

La industria textil y de la moda se caracteriza mundialmente como el segundo renglón más contaminante de la economía, superado solo por la industria de la extracción y procesamiento de combustibles fósiles. Según el Bureau of International Recycling (2018), hasta el 95% de la ropa y los textiles pueden ser reutilizados y reciclados, pero la gran mayoría de fabricantes de prendas de vestir no tienen en cuenta en sus procesos productivos los fundamentos de la economía circular y la producción más limpia. Según estadísticas del Boston Clothing Group, ocho de cada doce empresas analizadas informan sobre datos limitados de ecoeficiencia en sus propias operaciones y cadenas de suministro. Por ello, implementar el reciclaje o reutilización de los remanentes textiles es un desafío para el sector, permitiría mejorar su justificada imagen poco amigable con el ambiente, además de reducir gastos y mejorar la eficiencia en los procesos de producción, ya que desechos como los remanentes textiles preconsumo (o posindustriales) llegan a acumularse de forma considerable en distintas áreas del taller de producción. Los remanentes textiles preconsumo son materiales limpios, excedentes del proceso de producción que no han entrado en contacto con el consumidor, pero que deben ser retirados de la cadena de producción porque carecen de las propiedades mecánicas, físicas o dimensionales adecuadas, y pasan a considerarse materiales de descarte.

En el presente proyecto se proponen alternativas de reciclaje de los remanentes textiles preconsumo resultantes de los procesos de fabricación en serie de prendas de vestir, específicamente el material textil conocido como poliéster ópalo, una de las materias primas de mayor utilización en la planta de producción de la empresa Studio F Group, en Yumbo (Valle del Cauca). El poliéster ópalo es un textil formado por un 92% de polietiléntereftalato (PET) y un 8% de elastano. El poliéster ópalo fundido a 310°C en un horno mufla, permite obtener placas plásticas rígidas, termomoldeables y termoestables. Presenta una densidad similar a la del PET virgen, aunque es mucho menos resistente a la tensión y

la flexión. Por ser un polímero, es resistente a la humedad, el ataque por hongos y bacterias, su aspecto estético es agradable, es fácil de maquinar, cortar, perforar, pegar, pulir, pigmentar y unir, y por tanto puede ser utilizado como material para la elaboración de múltiples accesorios, como material para la decoración y optimización de espacios interiores y cocinas, y como sustituto de la madera en la elaboración de marcos y molduras.

Palabras Clave: Reciclaje, textiles, industria de la moda, productividad, remanentes textiles, remanentes preconsumo, producción más limpia, economía circular, poliéster ópalo, fibras textiles sintéticas, PET.

Índice de tablas

Tabla 1. Ranking de las 10 principales empresas productoras de textiles y confecciones en Colombia	29
Tabla 2. Ranking 10 empresas más exportadoras de la industria textil y de confecciones nacional. 30	
Tabla 3. Caracterización, propiedades físicas y mecánicas del poliéster Ópalo.....	41
Tabla 4. Masa del ensayo de densidad.....	58
Tabla 5. Resultados del ensayo de resistencia a la tensión en probetas tipo hueso, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.	61
Tabla 6. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión en probetas rectangulares, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.	63
Tabla 7. Matriz de requerimientos/Determinantes/Deseos (PSD) Product design specifications.....	67

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación Estándar de Indumentaria Básica.	10
Figura 2. Procesos de producción de textiles a nivel industrial.	11
Figura 3. Jerarquía de los procesos de producción de prendas de vestir industrializados.....	14
Figura 4. Esquema de recuperación y reciclaje textil	20
Figura 5. Procesos de reutilización de la fibra.....	23
Figura 6. Gestión en sistemas de reciclaje de origen textil	25
Figura 7. Aplicaciones y diseños en mobiliario del Proyecto DEMONDÉ.....	27
Figura 8. Estudio del Caso Instalaciones de SF. Group Izq. Planta de producción en Yumbo (Valle), Der. Vestíbulo de las instalaciones en Yumbo (Valle) fotografía de la autora.	31
Figura 9. Estructura organizacional de los procesos de producción en serie de prendas de vestir.	33
Figura 10. Colecciones Studio F. Variedad de estilos que maneja la marca (Tomado de Studio F online F.G., 2020).....	35
Figura 11. Sistema de apilado (izq) y proceso de relajado textil textil (der), en la planta de producción de SF Group, Acopi-Yumbo (Valle del Cauca).....	36
Figura 12. Herramientas de corte sistematizadas y manuales.	38
Figura 13. Remanentes textiles resultantes de los procesos de corte de SF Group.	39
Figura 14. Taller de corte y producción de prendas de vestir de SF Group.	39
Figura 15. Síntesis de PET a partir de polietilén glicol y TPA (modificada de Palacios, 2021).	40
Figura 16. Espectro Raman de una muestra de poliéster ópalo, generado como desecho textil preconsumo en la planta de Studio F Group de Yumbo (Valle). Se observan dos bandas de Raman características a frecuencias de 1620 cm ⁻¹ (enlace C=C) y 1730 cm ⁻¹ (enlace C=O).....	51

Figura 17. Espectro Raman de una muestra de poliéster ópalo, generado como desecho textil preconsumo en la planta de Studio F Group de Yumbo (Valle), en comparación con polietilén tereftalato (PET,94,69% de similitud) y polihexametiléntereftalato (82,76% de similitud)	51
Figura 18. Equipo Mettler Toledo para ensayo de TGA/DSC. La muestra de poliéster ópalo se ha dispuesto en un crisol de alúmina para ser calentada bajo atmósfera inerte desde 25 hasta 900°C.	52
Figura 19. Gráfica TGA/DSC obtenido del ensayo térmico de una muestra de poliéster ópalo.	53
Figura 20. Preparación de las muestras de poliéster ópalo obtenidas de remanentes textiles en la planta de producción de Studio F Group en Yumbo (Valle). Las muestras se cortaron, pesaron y se dispusieron en un molde de acero inoxidable recubierto con cinta de te	54
Figura 21. Fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo en molde de acero calentado en horno mufla a tres temperaturas diferentes.	55
Figura 22. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 290°C.....	55
Figura 23. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 310°C.....	56
Figura 24. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 330°C.....	57
Figura 25. Extracción de probetas tipo hueso mediante corte láser a partir de la placa obtenida por fusión térmica del poliéster ópalo	57
Figura 26. Determinación de la densidad de la placa obtenida por fusión térmica del poliéster ópalo.....	58

Figura 27. Extracción mediante corte láser de probetas rectangulares tipo hueso para ensayos mecánicos, a partir de placas obtenidas por fusión térmica del poliéster ópalo, según la norma ASTM-D638.....	60
Figura 28. Probetas rectangulares tipo hueso sometidas a ensayos de tensión según la norma ASTM-D638.....	60
Figura 29. Resultados del ensayo de resistencia a la tensión en probetas tipo hueso, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.	61
Figura 30. Resistencia a la tensión (MPa) en función del porcentaje de deformación	62
Figura 31. Probetas rectangulares sometidas a ensayos de flexión según la norma ASTM-D638. .	63
Figura 32. Resistencia a la flexión tensión (N) en función del desplazamiento (mm), de probetas rectangulares obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a 290°C, 310°C y 330°C.....	64
Figura 33. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión en probetas rectangulares, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas	64
Figura 34. Soporte para utensilios o elementos calientes.....	68
Figura 35. Soporte para cucharones	69
Figura 36. Soporte para embetunar tortas	69
Figura 37. Soporte para velas de incienso	70
Figura 38. Organizador o porta lápices (Modelado 3D).	71
Figura 39. Marcos y Portarretratos.....	72
Figura 40. Marcos o portarretratos	73

1. Introducción

La industria textil y de la moda ha sido un eje fundamental del crecimiento y desarrollo en Colombia y en la región. En nuestro país representa el 7,5% del PIB manufacturero y el 3% del PIB nacional. Ha ganado posicionamiento mundial por la producción de prendas y telas de calidad, y es reconocido por empresas de textiles como Fabricato y Coltejer y por tener las dos principales ferias textiles en América Latina como son Colombia Moda y Colombiatex (Espinel-González, Aparicio Soto, & Mora, 2018). Además de ello, este provee una alta demanda de empleo a la población vallecaucana abarcando un 24% de las vacantes, vinculadas a las diferentes fases de producción de prendas de vestir, desde la creación, confección y producción, hasta la comercialización del producto terminado (Procolombia, 2016). Sin embargo, a través de los años este sector ha presentado un decrecimiento constante debido a la importación asiática la cual creció en un 21,8% en el año 2018 de productos textiles y de confección (López Bejarano, 2019).

La población colombiana ha incrementado el consumo de prendas de vestir, dado que en la actualidad el vestuario hace parte de la identidad y se entiende como una forma de autoexpresión. Se estima que el colombiano promedio adquiere periódicamente entre 7 y 19 kilos de prendas de vestir, según La Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, UAESP. El aumento en la productividad de prendas de vestir ha generado a su vez un crecimiento significativo del volumen de remanentes textiles o recortes preconsumo, que puede alcanzar una tonelada diaria o más en temporadas de producción alta, según datos obtenidos en campo, en la planta de producción de la empresa vallecaucana Studio F. Estos remanentes son depositados en cuartos de almacenaje o trasladados a plantas de incineración, pues son inutilizables dentro de la cadena de producción como potencial insumo, debido a que no posee las características físicas y dimensionales aptas para la creación de prendas de vestir. A pesar de las medidas que ha tomado la industria productora textil para alcanzar

una disposición adecuada de los remanentes producidos, la cantidad y volumen diario rebasan la capacidad de almacenamiento, ocasionando deficiencias en el manejo, y en el peor de los casos, llegando a los rellenos sanitarios.

Considerando las evidencias mencionadas, el presente proyecto propone una alternativa sostenible para el aprovechamiento de los remanentes textiles, resultantes de los procesos de producción en serie, de prendas de vestir en las empresas tipo Pymes del nicho vallecaucano.

2. Marco teórico

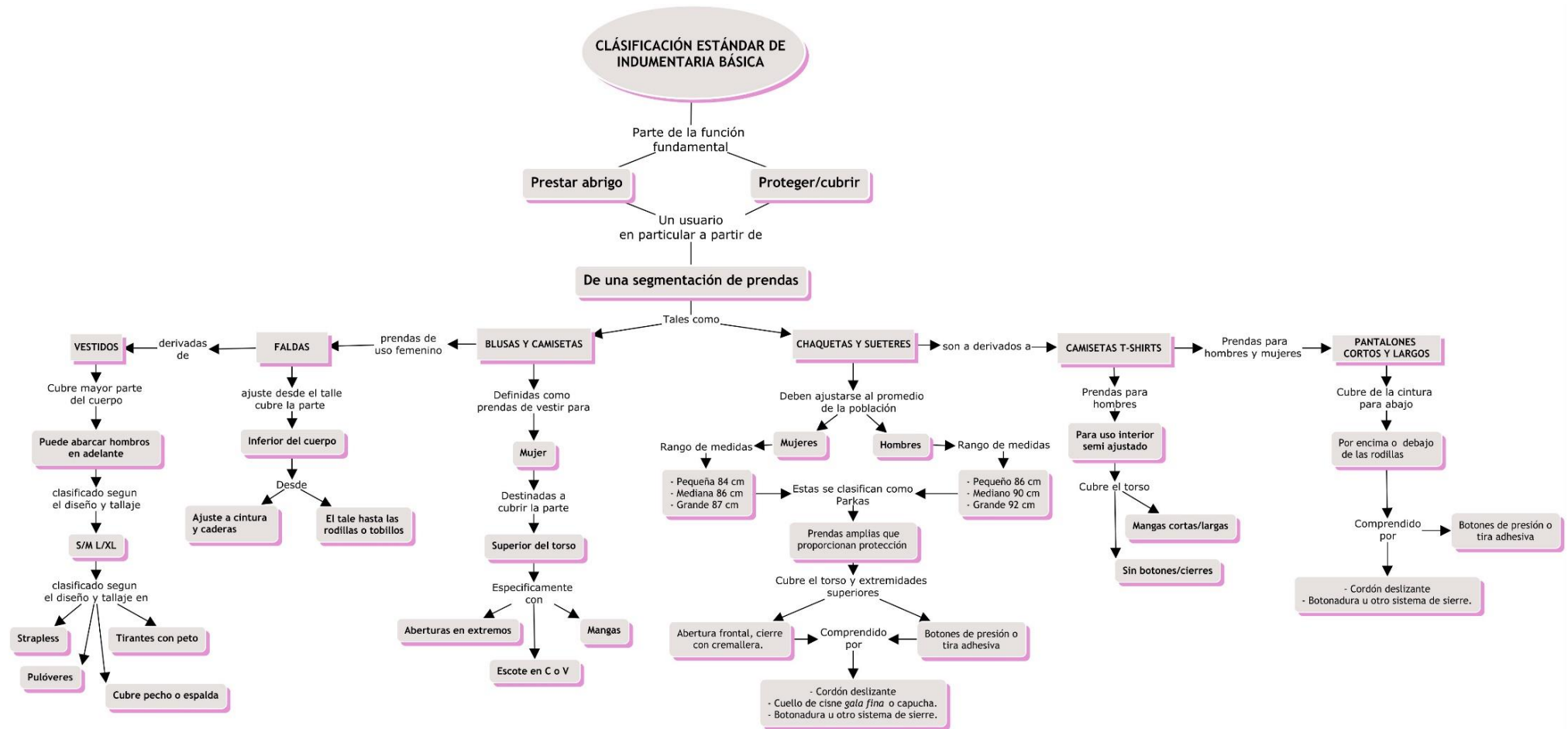
2.1 El mercado de producción textil y la postura del consumidor

La fabricación en serie de prendas de vestir se lleva a cabo por medio del maquilado industrial, que toma como referente inicial el plantillado digital de un modelo de prenda establecido, a partir del cual se configura un software de corte, teniendo en cuenta las dimensiones que abarca en el textil. Este modelo de producción aporta versatilidad y precisión en las réplicas obtenidas, proporcionando al mercado un desarrollo ilimitado de vestuario. Las características de la materia prima empleada dictaminan los usos del textil, le permiten al diseñador hacer tangible la idea bidimensional en un producto logrado, y posibilitan la satisfacción del consumidor, acorde con una necesidad, ya sea por la imposición de una indumentaria o la búsqueda de la autorrealización personal, factores que juegan un rol característico en la expresión de su identidad o “autoexpresión”, como lo define Maslow en su premisa sobre la motivación humana (Maslow, 1934). El ámbito sociocultural, el apremio de afinidad y la funcionalidad que podría aportar la prenda, están bajo la influencia de las emociones del consumidor en el momento de realizar la dinámica de compra.

2.2. Clasificación de la indumentaria en el mercado

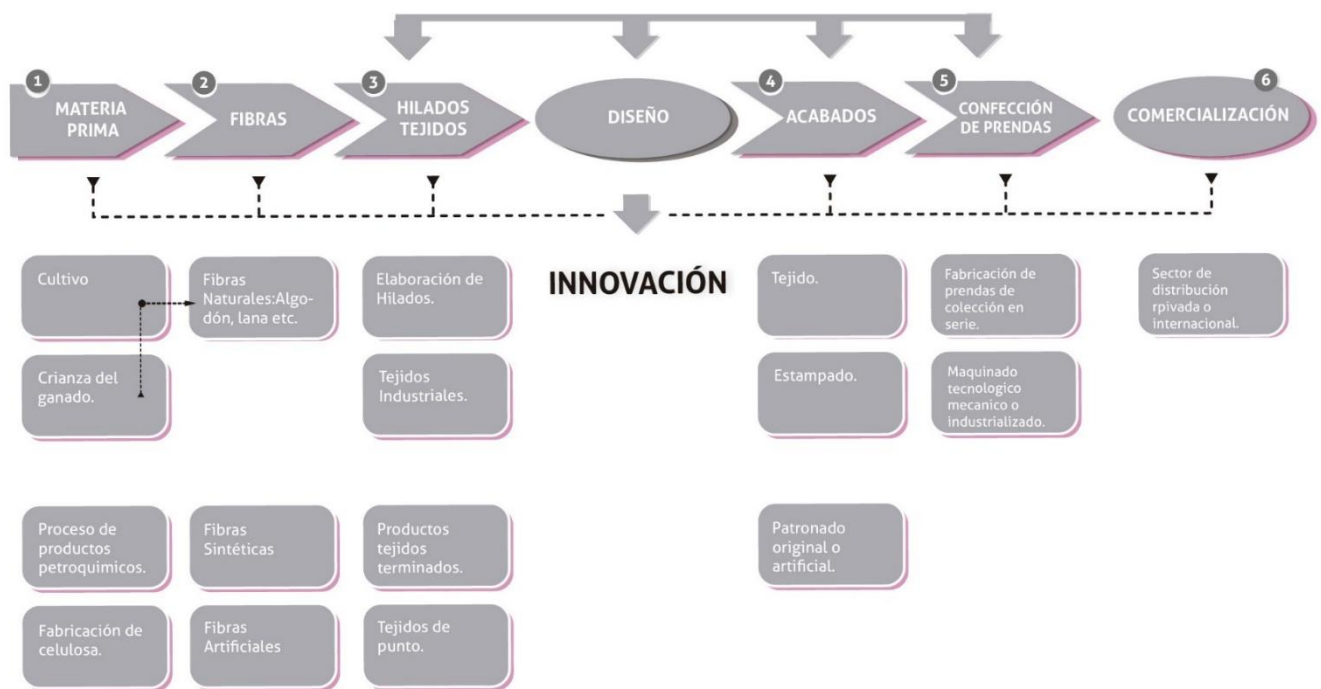
Satisfaciendo la necesidad fundamental de prestar abrigo y protección, el vestido hace parte de la presentación personal de cada individuo. Las prendas de vestir se elaboran considerando la morfología humana, la silueta, el tallaje y la ergonomía de un público establecido, y se clasifican según la funcionalidad específica, como se muestra en la figura 1, en la cual se presenta la caracterización de la indumentaria de la población adulta, incluyendo los modelos de prendas básicas mayormente comercializados, es decir, los que generan mayor demanda por parte del consumidor.

Figura 1. Clasificación Estándar de Indumentaria Básica.



Nota. Elaboración propia basada en la Tipología de prendas de vestir. (FundeúRAE, 2015)

Figura 2. Procesos de producción de textiles a nivel industrial.



Nota. Elaboración propia basada en la estructura de la Cadena Productiva de la Industria Textil (García Acosta, 2018)

2.3 Segmentación jerárquica de los procesos de producción de prendas

La estructura tradicional del sector textil incluye diversos procesos y agentes fundamentales que posibilitan el proceso de creación y confección de las prendas de vestir.

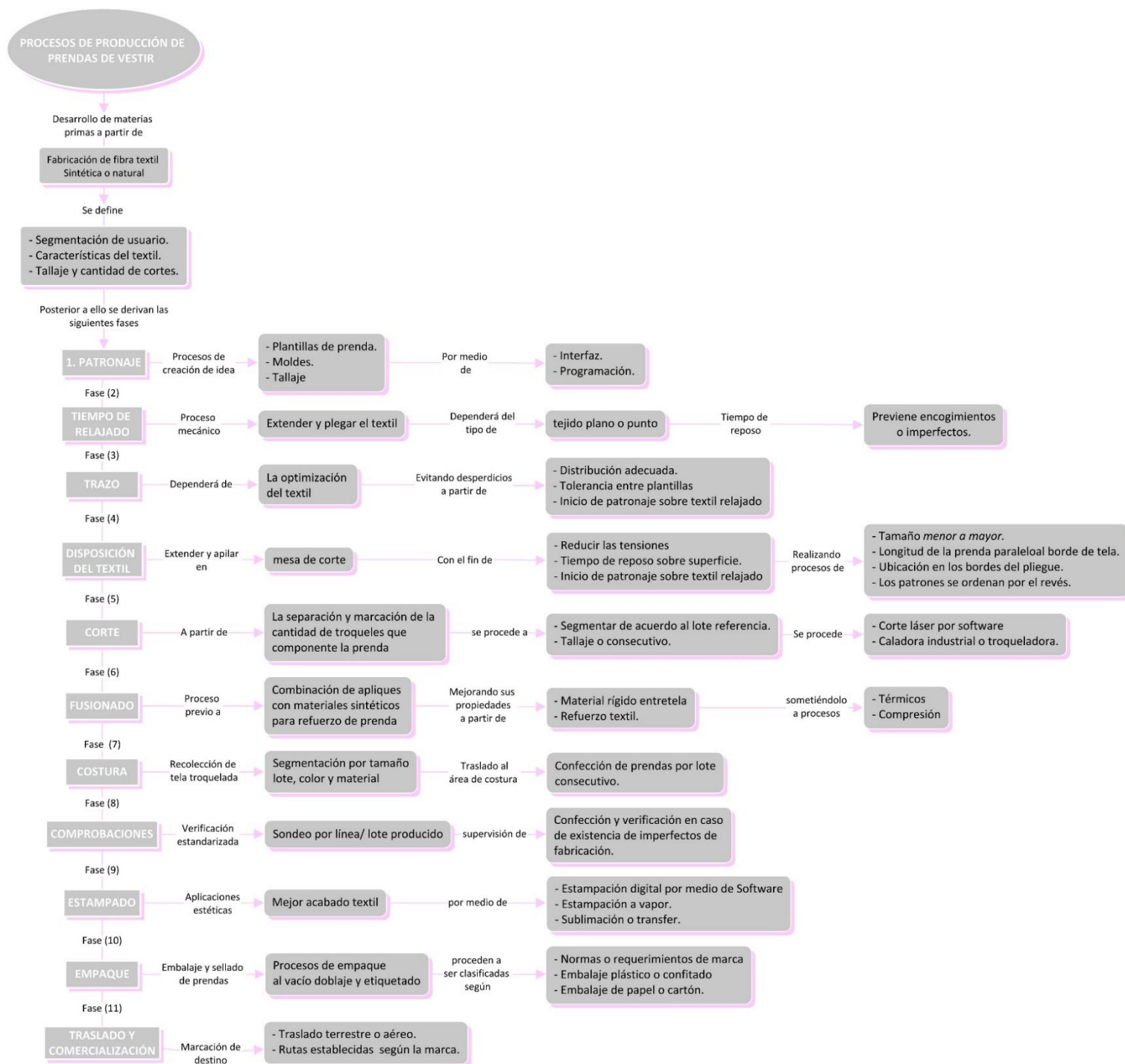
En primer lugar, se encuentran los proveedores de insumos, que comercializan las fibras naturales y sintéticas a la industria. En segundo lugar, están las empresas textiles (hilaturas, tejedurías), que desarrollan la manufactura, transformación y preparación de hilado mediante procesos como el tejido, acabado, bordado y teñido. En tercer lugar, se encuentran las empresas de confección, que se encargan del proceso de creación de las prendas de vestir. Finalmente se encuentran las empresas dedicadas a

la comercialización y distribución del producto terminado. A nivel industrial, el ciclo de fabricación comúnmente se realiza a partir de la sistematización de circuito en serie, siendo las áreas de mayor relevancia son las que se encargan de la transformación, corte y troquelado de las prendas, pues es en estas etapas donde hay una producción significativa de remanentes textiles. En la figura 3 se esquematizan los diferentes procesos involucrados en los ciclos de producción que llevan a cabo las fábricas de prendas de vestir, desde el diseño, el patronaje, la selección de la materia textil, hasta el proceso de corte, maquilado y comercialización del producto terminado. (García Acosta, 2018).

La selección de la materia prima determina el desarrollo de las siguientes fases en la cadena de producción, ya que cada fibra textil, sea natural o sintética, presenta características y propiedades físicas específicas, que determinan el tipo de hilado, punto o malla. Teniendo en cuenta estas cualidades funcionales, se llevan cabo las fases subsiguientes de acabado, teñido, impresión, revestimiento, laminado o terminado mecánicos, que aportan valores ópticos y estéticos al tejido (Bullón Pérez, A. González Arrieta, A. Hernández Encinas, and A. Queiruga-Dios, 2017).

Posteriormente el tejido es etiquetado con las nuevas propiedades que le proporcionaron los procesos de acabado a los que fue sometido, y se clasifica según el diseño, materialidad y estilo de hilado, para ofrecer a los posibles compradores toda la información acerca de la prenda, desde su origen (celulósico o sintético), los cuidados que deben tener para prolongar sus cualidades y la vida útil, la resistencia al lavado mecánico, y la exposición a detergentes según afirman (Bullón et al. 2017)

Figura 3. Jerarquía de los procesos de producción de prendas de vestir industrializados



Nota. Elaboración propia desarrollado a partir de los procesos de producción en serie de prendas de vestir.

Las posibilidades de diseño que ofrecen los distintos tipos de fibras textiles le permiten a la industria suplir de manera versátil las pretensiones de la moda, alcanzando una variedad de cualidades estéticas inimaginables tiempo atrás. Pero, al ser la moda una cultura de constante cambio, siempre en busca de nuevas convicciones por medio de la experimentación formal de la prenda, los vínculos con la inteligencia artificial han empezado a inmiscuirse sutilmente en los patrones de diseño. La magnitud de la competencia en el mercado de la producción textil favorece el surgimiento de herramientas modernizadas y configuraciones de software ingenieril para el desarrollo de tejidos computacionales y modelos simulados de prendas de vestir que semejan la realidad del producto terminado. Es el caso de las herramientas de análisis de elementos finitos (FEM), que logran prever el comportamiento de las estructuras textiles complejas por medio de cálculos codificados. Tales inferencias permiten a la industria textil desarrollar gradualmente aplicaciones de sistemas expertos, que aumentan la producción, mejoran calidad y reducen costos en una categoría específica del producto terminado (Bullón et al. 2017).

2.4. Programación digital computarizada (CAD) y simulación de creación de prendas

Los sistemas expertos para la producción de tejidos en la industria textil implican una precisión y eficiencia en las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) que favorecen una disminución considerable del tiempo de producción de una colección de prendas de vestir en comparación con el troquelado por plantillado tradicional (Bullón et al., 2017).

La reducción de pruebas de prototipos físicos y la confiabilidad con respecto a la capacidad de decisión se incrementan gracias a la agilidad y el poder de rectificación que provee el software, permitiendo el libre juego de la creatividad, donde el alcance de los diseños más pretenciosos y el proceso de creación pueden pasar directamente del papel a la realidad gracias al control de calidad de

cada paso desde el inicio del proceso, que permiten la obtención del producto terminado en perfectas condiciones, minimizando el margen de error en el proceso de corte (Dwivedi y Dwivedi, 2013; Fontana, 2005).

En consecuencia, las simulaciones del software son una de las fases más significativas en el proceso de análisis ya que permiten tomar decisiones medianamente confiables sobre el producto final. La aplicación de herramientas de CAD reduce y descarta las fibras menos satisfactorias en cuanto a su aplicabilidad, al permitir una visualización óptima de tejidos, tonalidades y características de la materia prima.

En cuanto a los procesos industriales y las simulaciones de sistemas, las últimas tendencias en el desarrollo de bases de datos y el uso de un sistema CAD se basan en software de Inteligencia Artificial (IA), y más específicamente, en el uso de CBR (Case Based Reasoning, o razonamiento basado en casos), concerniente al análisis o solución de problemas con base en casos anteriores. Esto, debido a que la complejidad estructural de los textiles y las propiedades añadidas durante el proceso, dificultan el utilizar modelos precisos para el análisis de los diseños, de modo que la ingeniería textil se basa cada vez más en el uso de antecedentes y patrones ya establecidos nacionalmente, cuyos modelos predicen las propiedades y el comportamiento de las estructuras textiles a partir de bases de datos computarizadas que crecen con el tiempo, a medida que se realizan mayores comprobaciones aumentando la información estructural de las fibras textiles. Cabe destacar que el CBR es una herramienta que posibilita obtener la solución desde cero, puesto que provee respuesta a dificultades y aspectos más relevantes de una prenda específica a producir, además de identificar las características precisas del textil (Bullón et al., 2017).

2.5. Producción de residuos textiles de la Industria tipo PYMES

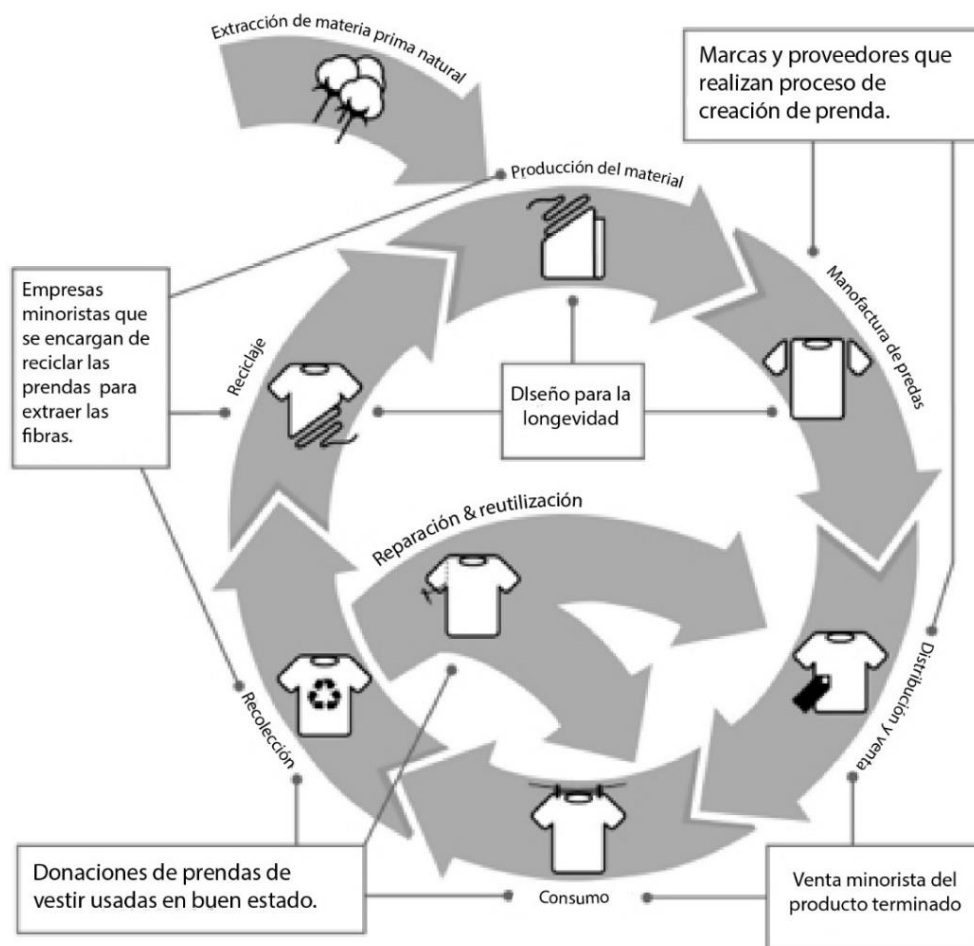
Los residuos textiles postindustriales limpios se definen como desechos que no han entrado en contacto con el consumidor. Normalmente se lleva a cabo un proceso lineal ya que los desechos se generan durante el procesamiento de prendas de vestir por el fabricante tipo PYMES, que decide retirarlos del ciclo productivo porque no cuentan con propiedades mecánicas, físicas o dimensionales para la confección de prendas para el mercado, sin embargo, en algunos casos, son utilizados para crear líneas de accesorios como bolsos de mano, diademas, tocados para el cabello, entre otros, no obstante resulta más costoso su reutilización, ya que se deben tercerizar procesos para su fabricación (Quinayá, 2017) es por ello que en la mayoría de los casos las productoras desestiman el material, llevándolo a cuartos de almacenaje para posterior reventa a microempresarios que utilizan los remanentes como relleno de colchones o cojines, frazadas, colchas, paños para limpieza, etc. Finalmente, como última instancia las empresas optan por enviar los remanentes a plantas de incineración controlada (Abuchaibe, 2019).

2.6. Caracterización y categorización de residuos de la Industria Textil

Los remanentes limpios preconsumo se definen como fibras y telas descartadas que no entraron en contacto con el consumidor debido a que pierden su utilidad en el ciclo de producción de prendas de vestir, por lo cual se descartan de la cadena de valor de recursos del fabricante y pasan a categorizarse como desecho. En caso de que los remanentes posean características o cualidades físicas y mecánicas aprovechables, se realiza un proceso de sondeo y selección, en el que se determina si pueden ser reintegrados a la cadena de producción postindustrial, y se define si se recuperan por medio de extracción de recursos reutilizables, por ejemplo, hilos, tejidos para el sector de la fabricación y venta de prendas de vestir, entre otros (Abuchaibe, 2019).

Según (Bureau of International Recycling, 2018) “casi el 95% de la ropa y los textiles usados pueden ser reutilizados y reciclados, según las condiciones, alcances y características que permita el textil dentro del sector”. Esto lleva a que los desechos textiles deban ser categorizados y separados en función de su composición (algodón, lana, poliéster, poliamida) color, tipo de pigmentación y tamaño. Por lo general, las prendas no se componen de una materia prima textil, ya que son muy comunes las mezclas como el polycotton *compuesto por algodón y poliéster* en la separación de estos materiales supone una dificultad para su reciclaje. En el caso de prendas mono-materiales, el proceso se puede realizar de forma manual o automatizada, o bien a partir de porcentajes estandarizados, que tradicionalmente utilizan la mayoría de las empresas de confección y producción en serie, según lo simplifica el siguiente esquema (Figura 4).

Figura 4. Esquema de recuperación y reciclaje textil



Nota. Recolección, reciclaje y reprocesamiento sostenible (European Clothing Action Plan, 2019).

2.7. Dificultades medio ambientales en los procesos de producción en serie de indumentaria textil

Como se mencionó antes, y se ilustró en la figura 3, la producción industrializada de prendas de vestir muestra los procesos de fabricación en serie como una jerarquía de procesos en cadena, desde el diseño, patronaje, corte, confección y hasta la comercialización y distribución del producto terminado (Nieto Galindo, A. López E, 2017).

Una proporción significativa de desechos de residuos textiles, que se estima en un 34%, se genera durante y después de la fase de corte (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014). El sector manufacturero textil está obligado a incluir sistemas de gestión ambiental en los procesos de producción, atendiendo a las políticas ambientales, sistemas de gestión y regulación (ISO-NTC 1400-1). No obstante, la industria textil tiene grandes dificultades para responder a los retos de sostenibilidad ambiental, lo que se evidencia en la generación de aproximadamente 2.100 millones de toneladas de residuos limpios y recortes cada año, de los cuales solo el 20% se recolecta para su reutilización o reciclaje (Starmanns, M. and Petrie, I., 2017) a que ya no cuenta con las propiedades físicas o dimensionales, llevando a la desvinculación de la cadena productiva y el posterior deshecho. Este puede darse mediante la reventa del residuo a microempresas que en la mayoría de los casos no cuentan con la formación, control y/o regulación en los procesos de gestión y distribución integral de residuos sólidos, lo cual fomenta la disposición indebida del residuo textil, que en el peor de los casos puede llegar a los rellenos sanitarios (hasta “el 85% de los residuos textiles del maquilado macroindustrial llegan a los rellenos sanitarios según datos del (Periódico Espectador y la Asociación de Materiales de Limpieza, Ropa e Industrias de Fibras “SMART”).

Por otro lado, se pueden realizar procesos de desintegración o desnaturalización del material, prácticas que no son muy bien acogidas desde la perspectiva ambiental, ya que generan (CO_2) *dióxido de carbono* y metano a la atmósfera según (Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Las PYMES implementan estrategias de reutilización cuando la materia textil resultante lo permite, políticas ambientales de gestión y regulación ambiental (ISO 1400-1) que permiten reducir los índices

de contaminación en la fabricación de indumentaria, respondiendo a los retos de sostenibilidad ambiental conforme a la ley del Estado Colombiano (Hyman, M. 2013).

2.8. Teoría del método de cálculo de desperdicio

Por medio del análisis de (Kasemset C, Kachitvichyanukul V., 2010) se logra estimar de forma aproximada de desperdicio textil producido por los fabricantes de prendas de vestir en el proceso de producción, expresado como un promedio de residuos por producto terminado. Como se dijo atrás, estos remanentes se obtienen posteriormente al proceso de corte del material textil, ya sea que éste se realice mediante coordenadas de software de plantillado o mediante troqueladora manual por operadores de planta, dado que el material textil abarca unas dimensiones determinadas, que no pueden modificarse para utilizar completamente la materia prima, sin riesgo de alterar el croquisado original e incluso perjudicar la fase de confección. En consecuencia, al finalizar el proceso los recortes generados se descartan como remanentes textiles, los cuales son llevado a cuartos de almacenaje. En las fábricas de producción en serie el volumen de remanentes tiende a ser significativo, de modo que una preocupación de la industria textil es realizar estimaciones que permitan aproximar la cantidad promedio de residuos textiles que se generen en la producción de prendas de vestir.

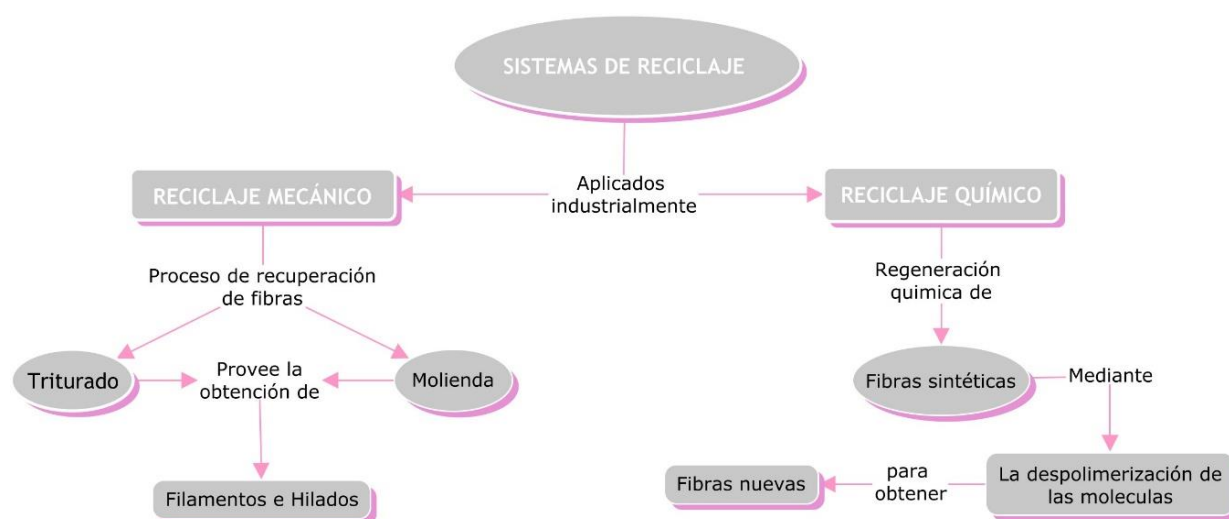
Es aquí cuando se hace necesario estimar mediante un método de cálculo, una cifra de residuos post industriales según la cantidad de prendas producidas, la cual depende de tres factores fundamentales: 1) La caracterización y dimensión del plantillado de diseño, 2) el tallaje del producto terminado (S, M, L, XL), y 3) la eficiencia del software de corte o marcador industrial. A partir de ello, se simula un mapeo con énfasis en el rendimiento de la planta, para finalmente establecer un porcentaje de residuos, los cuales pueden ir desde un escenario optimista que estima el 10% de las sobras, hasta uno pesimista con 30%, siendo un escenario intermedio el del 20% (Kasemset, C et al., 2010).

3. Estado de la técnica

3.1. Sistemas de reciclaje textil en el régimen industrial

Con base en lo discutido por Chumbi (2016), en la figura 6 se esquematizan distintas estrategias desarrolladas por la industria textil y de confección de indumentaria para lograr un mejor aprovechamiento de los remanentes mediante procesos de reciclaje químico y mecánico, ya sea que se lleven a cabo en otros segmentos de la industria textil, como insumos que propicien la creación de distintos productos, o fomentando su utilización como materia prima.

Figura 5. Procesos de reutilización de la fibra



Nota. Elaboración propia desarrollado a partir del análisis que ofrece el proyecto de grado Guía de procesos para la fabricación de objetos textiles para generar fuentes de Trabajo desde una conciencia social y medioambiental.

3.2. Economía circular y el diseño ecológico en la industria de la confección textil

La crisis ecológica global y el peso de la industria de la moda y la confección en la contaminación ambiental han impulsado el surgimiento de alternativas que buscan el desarrollo de productos que satisfacen necesidades de la sociedad tomando en consideración la disposición final de residuos, promueven la conservación ecológica e incrementan el ciclo productivo continuo, optimizando el uso de recursos y disminuyendo costos a través de la gestión de inventarios finitos y flujos renovables de escala industrial. En este sentido, la reincorporación de desechos textiles al ciclo productivo es una oportunidad empresarial (Stahel, 2010). En la figura 6 se esquematizan las rutas de recuperación y reincorporación de recursos dentro de modelos de economía circular. Actualmente, numerosas iniciativas en todo el mundo proponen la gestión responsable de los desechos textiles en el contexto de modelos de negocio sostenibles en términos económicos y ambientales, a través de procesos productivos que minimizan los desechos, centrándose en la recuperación y reincorporación de recursos. A continuación, se presentan algunas de ellas.

Figura 6. Gestión en sistemas de reciclaje de origen textil



Nota. (Tomado de Loetscher, S., 2017. The clothing and textile value chain).

3.3.1. Paneles de Aislamiento sonoro en construcción

Koopera es una red de entidades de economía social y solidaria que desarrolla actividades empresariales de servicios ambientales, reutilización y reciclaje, especialmente en relación con textiles. En la planta de Koopera en Mungía (país vasco), se aprovechan remanentes textiles (algodón,

poliéster, nylon) producto de la confección, dándoles una segunda vida útil para crear acolchados para paneles de aislamiento acústico que se utilizan en la construcción de viviendas. Tanto en el uso en tabiquería interior, como en los falsos techos, los paneles producidos en este proyecto han arrojado resultados de aislamiento acústico que igualan los valores de otros materiales utilizados en construcción para el mismo fin (Koopmat, A., 2017).

3.3.2. Paneles de Aislamiento Térmico

Con énfasis en la iniciativa expuesta con anterioridad, el proyecto *Koopmat* emprende un proceso de validación y caracterización en laboratorio, para brindar calidez en época de invierno a 23 viviendas rehabilitadas en la localidad vizcaína de Sestao. Tanto en el uso en tabiquería interior, como en los falsos techos, los paneles producidos en este proyecto han arrojado resultados de aislamiento acústico que igualan los valores de otros materiales utilizados en construcción para el mismo fin. Los paneles de Koopera son un gran ejemplo de cómo reducir el impacto ambiental que la edificación produce en nuestro entorno (Oneka, P., 2017).

3.3.3. Proyecto DEMODÉ

Demodé es un material desarrollado por la diseñadora chilena Bernardita Marambio que aprovecha y rescata residuos textiles preconsumidor recuperados de las fábricas textiles de Santiago de Chile, que producen cerca 46 mil toneladas de este tipo de residuo al año. Los residuos son caracterizados según su composición (natural o plástica), se mezclan y aglomeran con un adhesivo 100% biodegradable a base de almidón, que le otorga resistencia estructural y versatilidad encajar fácilmente en cualquier decoración del hogar. En la figura 7 se logran evidenciar la en aplicaciones de mobiliario, objetos y accesorios, revestimiento decorativo para muros interiores, etc. El material es altamente resistente al impacto y fácilmente mecanizado mediante corte con sierra, perforado, lijado, atornillado, encalado y adherido a otros materiales (Marambio, B., 2010).

Figura 7. Aplicaciones y diseños en mobiliario del Proyecto DEMONDÉ



3.3.4. Proyecto Flyknit

Nike ha desarrollado un modelo de calzado deportivo compuesto de materiales textiles reciclados proporcionados por fábricas de producción de trajes aeroespaciales y residuos de indumentaria de la misma marca. Los materiales son convertidos en materia prima para la elaboración de las zapatillas “Space Hippy”, un proyecto experimental para reducir el impacto de sus productos en la huella de carbono. El proceso de producción del calzado gira en torno al aprovechamiento máximo de los residuos textiles y la reducción de materias primas vírgenes para el desarrollo de calzado deportivo, con lo cual se minimiza el uso de recursos naturales y la huella de carbono emitida por los procesos de producción. El componente central y amortiguador está hecho de un agente espumante ligero, excedente en el proceso de producción de las zapatillas; en cuanto a su exterior, se compone de "espuma de cráter" (mezcla de espumas recicladas estándar de Nike con un 15% de caucho molido granulado).

Los ejemplos expuestos arriba muestran que la gestión responsable de los remanentes textiles es un potencial modelo de negocios sostenible en el ámbito empresarial, que permite la generación de

oportunidades económicas y competitivas a través de procesos productivos que minimizan los desechos, centrándose en la recuperación de recursos (Nike, S., 2020).

3.4 Empresas del sector manufacturero textil tipo PYMES del Valle del Cauca

Durante décadas, Cali y el Valle del Cauca han figurado entre los destinos más importantes de la industria textil y de moda en el país. Actualmente, el Valle del Cauca ocupa el tercer puesto en volumen de exportaciones del sector textil-confección a nivel nacional, respondiendo por el 8.6% del total de las ventas extranjeras (Inexmoda, 2020). La participación de las empresas de la región en ferias nacionales como Colombiamoda y Colombiatex contó con la presencia de 14 empresas locales en el año 2021. Con el fin de seguir expandiendo y fortaleciendo la industria, Fenalco Valle ha liderado la creación del Clúster Textil, que suma ya más de 1.500 miembros, agrupando a los exponentes de la región. Los municipios de la zona Sur del Valle del Cauca, incluyendo la capital Cali, más Yumbo y Jamundí, concentran una parte importante de las empresas del sector, en su mayoría PYMES (Cámara de Comercio de Cali, 2015).

El 36,1 por ciento de las exportaciones vallecaucanas se van para Estados Unidos; 20,5 por ciento para México, 7,3 por ciento para Ecuador, 5,2 por ciento para Panamá y 3,4 por ciento para Francia. Un reto del sector es explorar nuevos mercados y acceder a segmentos de consumo más sofisticados”, señalan los técnicos de la Cámara de Comercio. Consumidores de mercados como la Unión Europea y Canadá son cada vez más exigentes con la sostenibilidad ambiental de los procesos productivos. En este sentido, el sector manufacturero productivo textil se debe comprometer con la inclusión de sistemas de gestión ambiental en los procesos de producción, según la norma ISO-NTC 1400-1, pues la gestión ambiental es una de las debilidades del sector, que es responsable de generar cerca de 2.100 millones de toneladas de residuos limpios y recortes cada año a nivel mundial, de las cuales solo el 20% se recolecta para su reutilización o reciclaje (Starmanns, M. and Petrie, I., 2017).

3.5 Segmentación de empresas maquiladoras de prendas de vestir PYMES vallecaucanas y crecimiento anual de ventas

Según la Cámara de Comercio de Cali, las empresas del Valle del Cauca tienen gran potencial de crecimiento, apalancadas en su especialización en el procesamiento de materias primas importadas y manufactura de confecciones sintéticas. En el sector, los municipios de la zona sur cuentan con la mayor tasa de crecimiento promedio anual en ventas mayor desde el 2013 y se han mantenido como uno de los mayores distribuidores hasta el día de hoy. Las empresas que presentan mayor incremento en ventas se orientan a un segmento poblacional caracterizado por hábitos de consumo sofisticado, para lo cual producen líneas de moda versátiles, frescas e innovadoras, orientando su estrategia a la renovación de catálogos y el mantenimiento de tendencias (Cámara de Comercio de Cali, 2015). Según datos del Boletín Técnico del DANE (2014), entre las diez principales empresas productoras de textiles y confecciones en Colombia, aparece en el puesto tres la empresa vallecaucana Studio F, y entre las 10 más exportadoras de la industria textil y de confecciones figuran dos compañías de la región, Supertex y, de nuevo, Studio F (Cámara de Comercio de Cali, 2015; Boletín Técnico del DANE, 2014), tal como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Ranking de las 10 principales empresas productoras de textiles y confecciones en Colombia

Empresa	Sector	Departamento	2014	Var % 2013/2014	Part % 2014
Crystal S.A.S.	Confecciones	Antioquia	321,9	-19,1	3,3
Manufacturas Eliot S.A.	Textil	Bogotá	283,5	-0,2	2,9
Studio F International Fashion Corporation S.A.	Confecciones	Valle del Cauca	259,2	3,8	2,7
Comercializadora Arturo Calle S.A.S.	Confecciones	Bogotá	232,4	2,7	2,4
Sociedad de Comercialización Internacional Leonisa S.A.	Confecciones	Antioquia	183,3	1,7	1,9
Fabricato S.A.	Textil	Antioquia	165,4	-29,2	1,7
Enka De Colombia S.A.	Textil	Antioquia	162,6	11,6	1,7
Permoda Ltda	Confecciones	Antioquia	156,7	-5,9	1,6
Internacional de Distribuciones de Vestuario de Moda S.A.	Confecciones	Antioquia	151,7	34,4	1,6
Coltejer S.A.	Textil	Antioquia	120,3	0,7	1,3

Nota. Enfoque competitivo textil y de confecciones de prendas de vestir basado en los Informes económicos de la industria de cámara y comercio No.58 de la Gobernación del Valle (Tomado de DANE – Cálculos Cámara de comercio de Cali ., 2014. Informes económicos).

Tabla 2. Ranking 10 empresas más exportadoras de la industria textil y de confecciones nacional

Empresa	Sector	Departamento	2014	Var % 2013/2014	Part % 2014
Comercializadora Internacional Jeans S.A.	Confecciones	Antioquia	57,3	-0,9	7,3
Manufacturas Eliot S.A.S.	Textil	Bogotá	49,3	-12,9	6,3
Sociedad de Comercialización Internacional Leonisa S.A	Confecciones	Antioquia	53,7	17,6	6,9
Industrias Cannon de Colombia S.A.	Textil	Atlántico	46,9	-8,5	6,0
Supertex S.A.	Confecciones	Valle del Cauca	27,1	-12,1	3,5
Enka De Colombia S.A.	Textil	Antioquia	25,9	24,1	3,3
Studio F International Fashion Corporation S.A.	Confecciones	Valle del Cauca	25,6	0,8	3,3
Crystal S . A . S	Confecciones	Antioquia	25,7	-31,7	3,3
Textiles Lafayette S.A.S	Textil	Bogotá	18,5	0,7	2,4
Fabricato S.A.	Textil	Antioquia	16,0	-52,8	2,0

Nota: Enfoque competitivo textil y de confecciones de prendas de vestir (Tomado de DANE – Cálculos Cámara de comercio de Cali., 2014. Informes económicos).

4. Trabajo de Campo

4.1. Descripción del caso de estudio

Figura 8. Estudio del Caso Instalaciones de SF. Group Izq. Planta de producción en Yumbo (Valle), Der. Vestíbulo de las instalaciones en Yumbo (Valle) fotografía de la autora.



Studio F Group S.A. es una empresa con 22 años de existencia en el mercado local y nacional, posicionada como una de las líderes en la producción en serie y comercialización de prendas de vestir femenina. Según la página web Calicreativa (<https://calicreativa.com/studio-f/>), la historia de la empresa se remonta a sus inicios, hace 40 años, bajo el concepto de tienda boutique, con el nombre Faride Fashion. Luego incursionó en la etapa de confección, y en los años 90 alcanzó reconocimiento y presencia con tiendas en casi todo el país. Actualmente lleva a cabo el proceso de producción, desde la selección de la materia prima textil, pasando por la confección, producción y la distribución del producto terminado bajo su propia marca, y bajo líneas hermanas como ELA (con precios más asequibles) y TOP ON (especializada en tallas grandes). Se destaca en el mercado nacional por el manejo de su portafolio como icono de la moda, con una visión vanguardista en la creación de sus colecciones, haciendo énfasis en la diversidad de campos en los que se desempeña la mujer latina

moderna, y moviéndose desde el rango ejecutivo hasta un estilo más fresco y relajado, sin perder la línea de elegancia, comodidad y versatilidad. Actualmente genera 5500 empleos directos y 4000 indirectos, produce unos seis millones de artículos al año, que se distribuyen en 185 tiendas en el país y más de 300 en Latinoamérica. Entre el 80 y el 90% de la producción se hace en la planta de producción ubicado en la zona industrial Acopi en el municipio de Yumbo. También se destaca por la calidad de las producciones fotográficas y el hecho de que modelos con gran trayectoria y reconocimiento hayan sido imagen de la marca caleña.

4.2. Selección del Caso de estudio

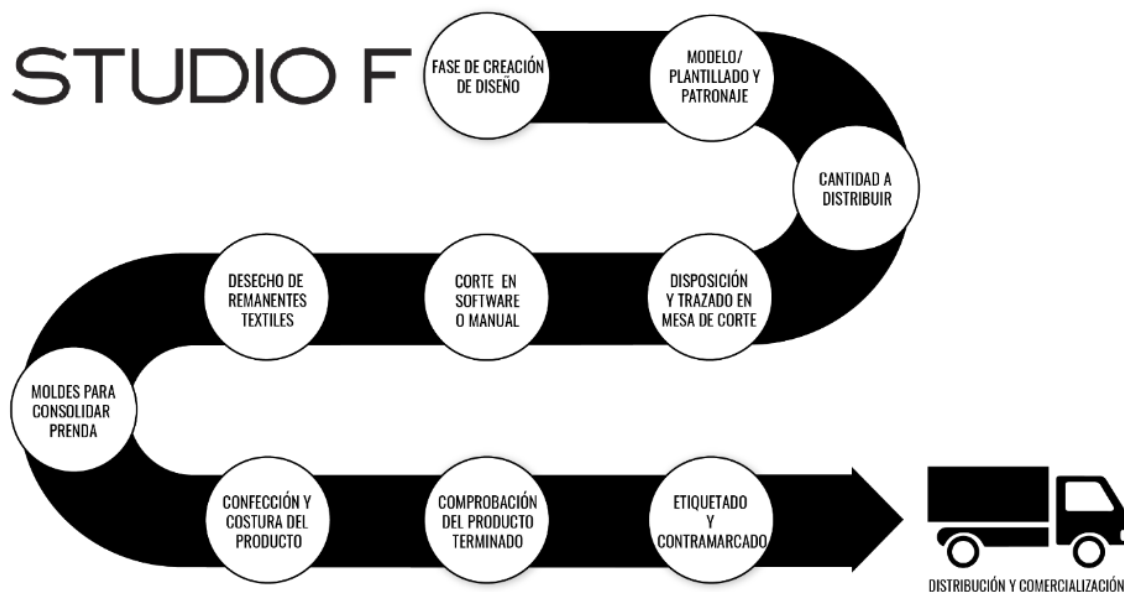
El trabajo de campo se desarrolló a partir del análisis de los ciclos de producción en serie de prendas de vestir de la empresa Studio F, en la planta de producción principal de Yumbo (Valle del Cauca), entre (octubre y noviembre de 2021). En la planta de Yumbo se llevan a cabo las diferentes etapas de producción, desde la selección de la materia prima. El análisis detallado de las fases de producción lleva a formular interrogantes como: ¿Se aprovecha en su totalidad (es decir, al 100%) la cantidad de materia textil utilizado para confeccionar las prendas de vestir? En caso de no ser posible esto, ya sea por las características de la tela y/o patrón, troquel o software empleado en planta, etc., ¿qué pasa con esa materia prima? ¿Vuelve a reintegrarse a la cadena de producción? ¿Qué uso se les da a esos remanentes? ¿Son desechados? ¿Se mercadean de alguna forma? Son preguntas directoras del tema de investigación, ya que permiten formular los alcances del presente proyecto, teniendo en cuenta la importancia y el potencial que tiene Studio F Group como icono en la industria de la moda femenina.

4.3. Análisis de las fases de elaboración de producto terminado en Studio F Group S.A.

La elaboración de las prendas de vestir en la planta de producción principal en Acopi-Yumbo, se lleva a cabo bajo rigurosos controles de calidad, las mejores materias primas y tecnología de punta. El ciclo

productivo en planta se desarrolla mediante un método de trabajo simultáneo, en el que interactúan las diferentes fases de transformación de la materia textil para la consolidación del producto terminado y su posterior comercialización. Aunque las diferentes etapas se desarrollan de forma secuencial, cada una interactúa y depende de la otras. En la figura 9 se esquematiza el proceso.

Figura 9. Estructura organizacional de los procesos de producción en serie de prendas de vestir.



Nota. Elaboración propia. Esquema desarrollado a partir del análisis del trabajo de campo ejercido por autor del proyecto de grado en las instalaciones de STF Group S. A

A partir del trabajo de campo se estableció un esquema simplificado de la estructura organizacional y las etapas de producción de prendas de vestir en Studio F Group. A continuación, se describen los elementos más relevantes de cada fase del proceso, desde el patronaje hasta el producto terminado, según la información obtenida mediante entrevistas a los operarios Yiner Loaiza, encargado de gestión y producción de planta, y Carlos Acosta, coordinador de corte, además de la observación en campo.

4.3.1. Primera fase: Creación y Diseño

El grupo de diseño ha desarrollado diversidad de estilos por temporada empleando estrategias de trabajo conocidas como “*Brain storming*” y “*design Thinking*” (o lluvia de ideas), que permiten un flujo de la creatividad invaluable para desarrollar propuestas basadas en características formales que identifican a la mujer latina moderna, como su morfología, las tonalidades y diversidad cultural, y que se han convertido en atributos indispensables para definir la marca.

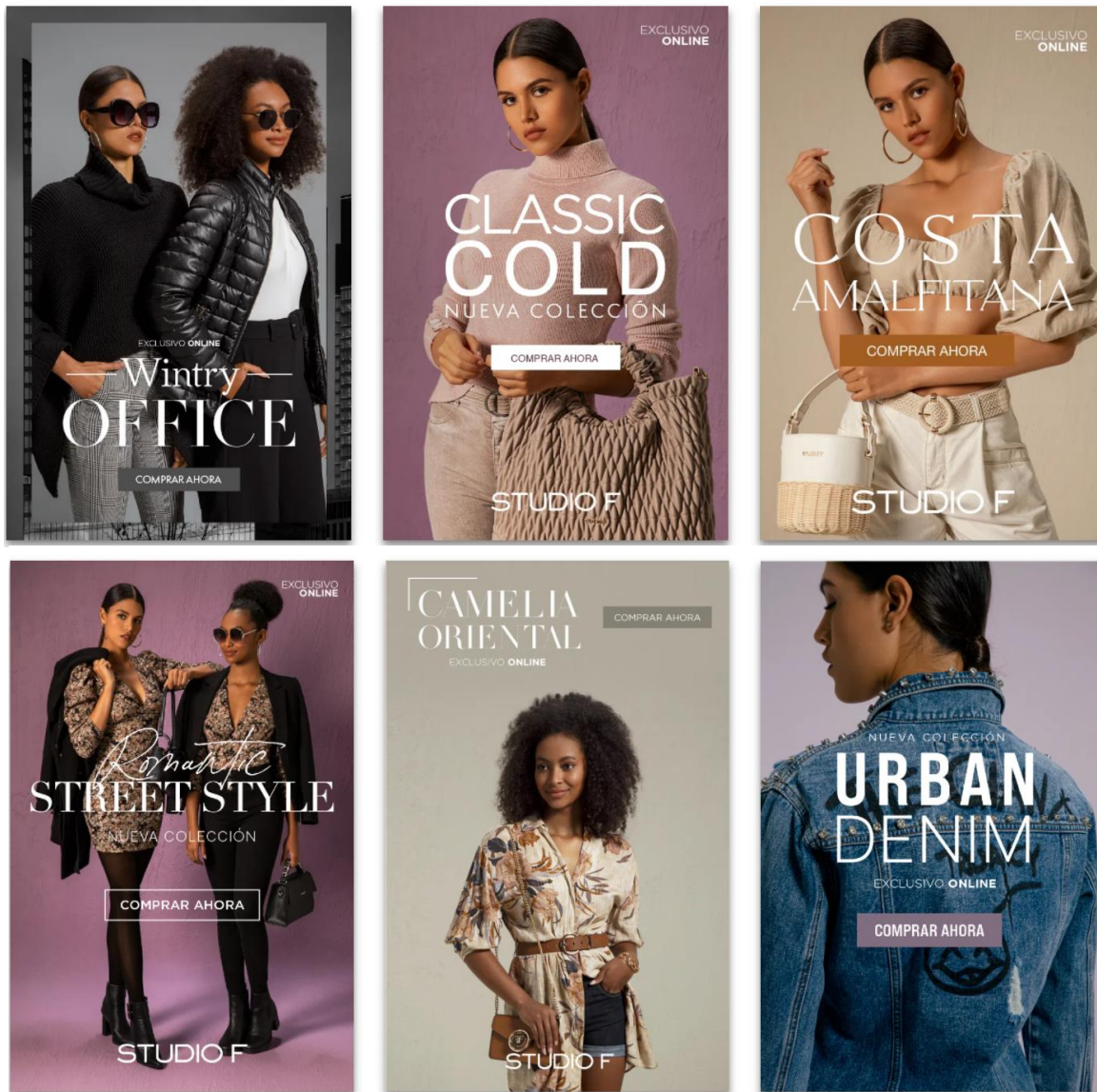
Al iniciar el desarrollo de un modelo se toman como referencia las dimensiones antropométricas de la población femenina latinoamericana, teniendo en cuenta la variedad de tallas, desde XS hasta L, para desarrollar una plantilla primaria. La diversidad de prendas y atuendos de Studio F está pensada para los múltiples escenarios y los distintos roles en los que se desempeña la mujer latina moderna. “Su misión es resaltar la belleza, brindando la mejor alternativa de moda y generando una experiencia de compra única” (STF GROUP, s.f., la Marca Colombiana en la Moda). Por ejemplo, los atuendos para el ámbito laboral de la colección “*Studio F Silver*”, la colección vanguardista “*Studio F Black*”, o el estilo más fresco y relajado para el día a día, “*Studio F Gold*”.

En la figura 10 se pueden observar algunos ejemplos de las colecciones producidas en una línea reciente (temporada 1, 2020). Las imágenes sugieren un vestuario sofisticado, que, dependiendo de la ocasión, refleja la feminidad y sensualidad de la mujer latina.

4.3.2. Segunda fase: Selección del material textil

Enseguida se procede a realizar la selección de la materia prima textil, paso que juega un rol fundamental en la creación del modelo, ya que la combinación de tonos, estampados y texturas brinda convicción al concepto de diseño.

Figura 10. Colecciones Studio F. Variedad de estilos que maneja la marca (Tomado de Studio F online F.G., 2020).



La gama de textiles disponibles según los diseños y estilos por temporada varían entre fibras naturales como el algodón, obtenido a partir de la celulosa, también podemos encontrar las fibras sintéticas como el poliéster y el tifón, o poliamidas como el nylon (combinación de hexametilendiamina y ácido adípico) que son derivadas de los polímeros. Cada materia prima cuenta con un número de serie asignado que define el tipo de textil al que pertenece, el porcentaje de composición, el grado de tonalidad, entre otros atributos. Esto le permite al operario la localización rápida en el cuarto de

almacenaje, el cual se encuentra estructurado a partir de un sistema de apilamiento, en el que cilindros de tela son organizados unos encima de otros (Figura 11). Al seleccionar la materia prima requerida, y de acuerdo con el plantillado previamente realizado, se define la cantidad de textil requerida, en metros lineales.

Figura 11. Sistema de apilado (izq) y proceso de relajado textil textil (der), en la planta de producción de SF Group, Acopi-Yumbo (Valle del Cauca).



4.3.3. Tercera fase: Registro de plantilla/patrón

A partir del diseño seleccionado se procede a *croquizar*, es decir, se ingresan los datos de medidas (alto y ancho) al *software* especializado en la lectura de vectores (AutoCad – Illustrator permitiendo el desarrollo de curvas y atributos formales) para preparar las plantillas que van ubicadas sobre la materia textil ya definida, posterior a ello el operario se asegura de que se distribuyan adecuadamente las plantilla tomando en consideración las tolerancias entre ellas, de esta forma se le indica a la maquina donde debe posicionar la navaja industrial de corte ya que se establecen las guías y parámetros que debe considerar el sistema en el plano de corte para la fabricación de *troqueles* o piezas que pasarán a conformar una prenda de vestir.

4.3.4. Cuarta fase: Relajado de tela/unidad a producir

Posteriormente se somete la materia prima al proceso de relajado, el cual consiste en extender el textil en las mesas de corte, con ayuda de una máquina aplanadora que se encarga de distribuirla uniformemente sobre la superficie, tal como se observa en la figura 10. Los operarios verifican que el material se encuentre sin pliegues o arrugas, y se aseguran de que los extremos coincidan tanto en ancho como en largo, sobre las márgenes de la mesa de trabajo, según la cantidad de material previamente asignado. La mesa de corte cuenta con perforaciones de 0,05 mm a lo largo de la superficie, que mediante succión mantienen fija sobre la superficie la pieza textil a maquinar. Este sistema minimiza los posibles defectos e imperfecciones durante el recorrido de la cuchilla.

Para la mejor comprensión del proceso, se realizó un corto video en las instalaciones de SF Group durante el trabajo de campo, el cual se puede consultar en la siguiente dirección: https://drive.google.com/file/d/1O14cFTgWpBfhR9usustKP88CIO_8o_cZ/view?usp=sharing

4.3.5. Quinta fase: Corte mediante software/herramienta de corte manual

Después de que el operario verifica el relajamiento del textil y la cantidad de material disponible según la cantidad de prendas a producir para un lote, procede al corte utilizando una guillotina industrial controlada por software, el cual está diseñado para la lectura de archivos de corte y debe ser editado previamente por el operario para establecer la cantidad de piezas que compone el modelo a replicar, proceso que es importante porque debe corresponder con la configuración de la velocidad/esfuerzo de trabajo de la guillotina para realizar un corte perfecto de las piezas. El software de corte está programado para mantener una tolerancia de 20 mm por cada pieza troquelada, de modo que se reducen las posibles imperfecciones ocasionadas por el recorrido de la cuchilla durante el corte.

Las piezas y partes delicadas como cuellos, puños, mangas y bolsillos de cierre requieren un proceso más minucioso, en el cual los operarios utilizan herramientas manuales de corte que permiten realizar detalles más precisos en la pieza textil a troquelar, tal como se aprecia en la figura 12 (derecha).

Figura 12. Herramientas de corte sistematizadas y manuales.



Para una mejor comprensión de esta parte del proceso, se pueden consultar en los siguientes repositorios, videos cortos realizados durante el trabajo de campo:

Método de extensión de materia prima a nivel industrial:

<https://drive.google.com/file/d/1tkMt8zA705hsAqhcWyLr2KI0mHIVHiEi/view?usp=sharing>

Proceso de corte de plantillas por medio de guillotina industrial controlada por software:

<https://drive.google.com/file/d/19Wxh6fGKaaLkuG3iAUI6CWiuH2cbJ77S/view?usp=sharing>

Proceso de corte manual:

<https://drive.google.com/file/d/1-ILT4qyY-rhIDn30RN7Ts9O49bryuOG/view?usp=sharing>

4.3.6. Sexta fase: Recolección/ desecho de residuos textiles

Al finalizar el proceso de corte ya sea por software o herramienta manual, se recolectan los remanentes textiles, conformados principalmente por tiras irregulares con dimensiones aproximadas de 1 m de longitud y 5 a 8 cm de ancho, las cuales son acumulados en bloque por los operarios.

Figura 13. Remanentes textiles resultantes de los procesos de corte de SF Group.



Los remanentes se depositan en bolsas ubicadas a los costados de las ocho mesas existentes en el taller de corte. Al terminar el procesamiento de un lote de moldes específico, los operarios trasladan los remanentes que no pueden ser aprovechados en otras etapas del proceso de producción, a cuartos de almacenamiento que no cuentan con condiciones ambientales ni espaciales adecuadas, dado el alto volumen producido. “Durante el ciclo de producción se genera hasta una tonelada diaria de remanentes” según informa el coordinador de corte. Por esta razón, a pesar de las políticas de aprovechamiento implementadas, una parte importante de los remanentes se desecha porque no cumple con las dimensiones para su reutilización en otras áreas de corte o confección.

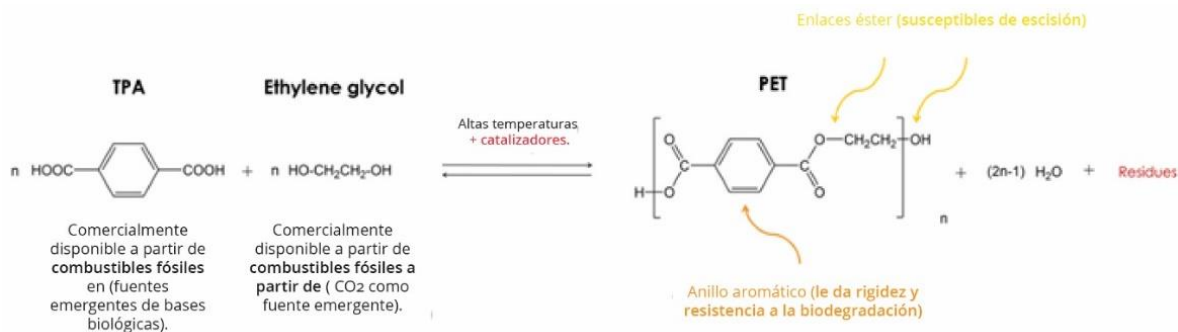
Figura 14. Taller de corte y producción de prendas de vestir de SF Group.



4.3.7. Séptima fase: Remanentes Seleccionados

Durante el trabajo de campo se encontró que en la planta de producción de Studio F Group en Yumbo (Valle) se producen unas 71000 prendas de vestir al año, que generan hasta 1 tonelada diaria de poliéster ópalo como remanentes preconsumo, en épocas de máxima productividad. Por esta razón, se seleccionó dicho material para el caso de estudio. El poliéster ópalo es una mezcla de poliéster (92%) y elastano (8%). Según Palacios (2021), más del 50% del volumen de fibras para la manufactura textil producidas mundialmente en 2018 fueron fibras sintéticas hechas de poliéster a base de derivados del petróleo, siendo el polietiléntereftalato (PET), el material poliéster actualmente predominante. La producción convencional de PET empieza con la extracción y refinamiento del petróleo para obtener los bloques constructores, el etilenglicol y el ácido tereftálico (TPA), que reaccionan por condensación para formar las unidades de etiléntereftalato, que luego se unen mediante enlaces éster (CO-O), para formar largas cadenas de PET. La polimerización requiere altas temperaturas ($>290^{\circ}\text{C}$) y catalizadores como óxidos o acetatos metálicos. Aunque en teoría los enlaces éster pueden ser hidrolizados, la presencia del anillo aromático le proporciona al PET rigidez y resistencia, haciéndolo altamente resistente a la biodegradación, tal como se muestra en la (figura 15) que ilustra el proceso de síntesis del PET.

Figura 15. Síntesis de PET a partir de polietilenglicol y TPA (modificada de Palacios, 2021).



El material se obtiene en forma de pellets, que se muelen, funden y extruyen en filamentos que son procesados térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas y formar hilos con los cuales finalmente se tejen las telas a base de poliéster (Palacios, 2021). En la industria textil se usan telas de poliéster 100% (tafeta, satín, organza, tafetán), o mezclado con algodón (popelina, dacrón) u otras fibras sintéticas como el elastano (poliéster ópalo). El elastano (spandex, a veces más conocido por su nombre comercial de Lycra ®) es un polímero de uretano y úrea, caracterizado por su extraordinaria elasticidad, que le permite extenderse hasta 200% sin deformarse (Shiferaw, 2021). En la tabla 3 se resumen las propiedades físicas, químicas, biológicas y mecánicas del poliéster ópalo, así como sus características y funcionalidades fabriles.

Tabla 3. Caracterización, propiedades físicas y mecánicas del poliéster Ópalo.

POLIESTER OPALO		
Mezcla de dos fibras sintéticas	92% Poliéster	8% Elastano
Es un termoplástica llamado PET (formado sintéticamente con etilenglicol y tereftalato de di metilo).		
Propiedades físicas	Tejido suave al tacto, elástico, flexible y muy versátil. Es uno de lo más resistentes, livianos y fáciles de manejar.	
Propiedades mecánicas	Cuenta con gran resistencia, gran capacidad de recuperación y transpirabilidad.	
Propiedades Biológicas	Repelentes a la humedad, hongos, el moho o bacterias.	
Propiedades Químicas	“Resiste los ácidos débiles y fuertes a ebullición aún el Ácido Fluorhídrico en frío”. Los disolventes orgánicos normales tienen escaso poder sobre estas fibras (MTSS SENA, 1980, P.14).	
Puntos de fusión	“Es mal conductor del calor y la electricidad”, por lo tanto, un excelente aislante térmico y eléctrico con puntos de fusión de 265°C (MTSS SENA, 1980, P.12).	
Cualidades	Puede mezclarse con facilidad con otros materiales como el algodón, lana, nylon o viscosa, obteniendo combinaciones textiles que aumentan la calidad final del producto (Stació, 2019).	
Debilidades	Baja absorción. Alta carga electrostática, ya que éstas adquieren una alta carga de electricidad estática, por la fricción durante el uso o rose con una superficie o la manipulación durante el corte o confección del textil. Dificultad para teñir o cambiar el color, los tintes solubles en agua son inútiles para realizar decoloraciones.	
Funcionalidad	Ideal para blusas y vestidos. Tejido con fluidez, caída y movimiento.	
Producción de residuos/remanentes aproximado	Según el trabajo de campo realizado en las instalaciones de Studio F Group, la cantidad de remanentes producidos por lotes de prendas de vestir es aproximadamente 1 tonelada/día.	

5. Metodología de Diseño

5.1. Primera fase: Investigación

Durante esta fase metodológica del presente proyecto se llevó a cabo la investigación de los procesos de producción de prendas de vestir en la planta de Studio F Group en la zona industrial de Acopi-Yumbo. Esta fase permitió identificar la problemática a abordar y seleccionar el caso de estudio en el contexto de los procesos de producción de prendas de vestir y gestión de los remanentes resultantes.

5.2. Segunda fase: Caso de estudio

Durante esta fase del trabajo de campo en las instalaciones de Studio F Group, se documentaron los procesos de producción, fases o ciclos productivos, patronaje, procesos de corte y creación de prendas de vestir, deshecho de materia textil, clasificación de textiles y manejo de residuos. Esto permitió acotar los alcances del proyecto, su enfoque, las necesidades que abarcaría y finalmente mostrar cómo el diseño industrial puede impactar de forma positiva el aprovechamiento de los residuos textiles.

5.3. Tercera fase: Investigación, trabajo de campo, procesos y remanentes

Al establecer el estado del arte y el estado de la técnica, se obtuvo claridad sobre la aplicación de estrategias de aprovechamiento y reciclaje de materiales textiles, se analizaron ejemplos de manejo de remanentes que ejemplifican la diversidad de aplicaciones y reciclaje del material textil. De esta forma fue posible acotar el tipo de remanentes textiles generados diariamente en la planta de SF Group, que se podrían intervenir y aprovechar para la creación de nueva materia prima y nuevos productos.

5.4. Cuarta fase: Análisis y clasificación de remanentes

Mediante las entrevistas y la observación realizadas en el trabajo de campo, se identificaron varios tipos de remanentes producidos diariamente en la planta de producción de Studio F Group. Uno de ellos es el poliéster ópalo, del cual se produce aproximadamente 1 tonelada/día, según las estadísticas de productividad de Studio F Group en 2021, material que podría extender su vida útil, pero es principalmente desechado o incinerado al no contar con las dimensiones mínimas para realizar otras prendas o accesorios. Una mínima parte de estos remanentes se comercializa a muy bajo costo (alrededor de \$50/kg) a microempresarios que lo utilizan como relleno de colchones y cojines, y pequeñas confecciones.

5.5. Quinta fase: Caracterización, comprobación y análisis del poliéster ópalo

Con el fin de realizar los ensayos y análisis técnicos necesarios para comprender las características y proponer posibles usos del poliéster ópalo reciclado, se presentó el proyecto “Aprovechamiento de Remanentes Textiles Resultantes de los Producción en Serie de Prendas de Vestir a Nivel Industrial de Empresas Tipo PYMES del Sur del Valle del Cauca”, ante la Red Tecnoparque del SENA, el que fue aceptado. De esta forma, se pudo efectuar el estudio de las propiedades de los remanentes de poliéster ópalo en los laboratorios del Área de Conocimiento, Ingeniería y Nanotecnología del Tecnoparque SENA, nodo Cali, (Cra. 5 #11 -68) Cali Valle del Cauca. Se realizaron las siguientes pruebas que permitieron determinar las propiedades y características funcionales del material reciclado sometiéndolo a las siguientes comprobaciones físicas y mecánicas:

- a) Caracterización por espectroscopía RAMAN para verificar el tipo de material en este caso poliéster, que se iba a someter a estudio.
- b) Evaluación de propiedades térmicas del material mediante TGA/DSC para determinar la temperatura de fusión y degradación.

- c) Fusión de remanentes de tela a diferentes temperaturas en mufla para producción de placas.
- d) Evaluación de la densidad del material fundido mediante picnómetro.
- e) Corte laser de probetas tipo hueso y rectangulares para ensayos mecánicos de tensión y flexión.

6. Problema de investigación

6.1. Planteamiento del problema

La industria de la moda genera cantidades alarmantes de desperdicios en forma de insumos subutilizados, prendas con defectos y stock sin rotación (Henao, 2020) pues el sector de confección y producción textil basa el rendimiento y competitividad principalmente en estrategias orientadas al consumo rápido (*Fast Fashion*), estimulando una dinámica de consumo incentivada por escenarios de autoexpresión en usuarios de consumo periódico habitual, donde la obsolescencia programada juega un papel determinante en ciclos de producción rápida. Un componente importante de los desperdicios de la industria textil y de la moda son los remanentes textiles preconsumo, resultantes de los procesos de producción de atuendos, materiales que no han entrado en la cadena de consumo, pero que por sus características son inutilizables dentro de la cadena de valor, y que en el caso de las PYMES generan costos relacionados con el almacenamiento y disposición final (Vehmas et al., 2018).

Según (Thorlakson, T., Zegher, F.J., Lambin, E., 2018) ocho de cada doce empresas analizadas, informan sobre datos muy limitados de ecoeficiencia en sus operaciones y cadena de suministro, siendo recurrentes las restricciones relacionadas con la configuración del diseño de vestuario y el patronaje industrialmente concebido (cortes por maquinaria mecánica o tecnológica), lo que se traduce en el desecho de material limpio.

Por otra parte, las dinámicas existentes a nivel nacional dificultan la mitigación de los impactos generados por la economía industrial, pues favorecen la continuidad del sistema de economía lineal, que se basa simplemente en extraer recursos, fabricar, usar y desechar. Esto se evidencia en la inexistencia de normativas y regulaciones claras sobre reciclaje, reutilización, segregación y disposición final de los remanentes, o en la incapacidad del estado para hacerlas cumplir, en el caso de que existan (García Acosta, 2018).

En este contexto, los desafíos de la crisis ambiental global han propiciado el surgimiento de iniciativas centradas en la sostenibilidad, mediante modelos como el de la “economía circular” que representa una alternativa al modelo lineal, y que busca la reintegración de bienes y materiales en la cadena de valor (Estrategia nacional de Economía circular, 2019). En el caso de la industria textil y de la confección, surge la necesidad de adoptar estrategias sostenibles en los sistemas de producción en serie de prendas de vestir, que deben impactar entre otros elementos de la cadena productiva, los sistemas de gestión de residuos limpios (*residuos preconsumo*) y la disposición final del vestuario usado (*desechos posconsumo*). Por otra parte, las iniciativas de consumo responsable se posicionan con fuerza en mercados potenciales para la industria textil y de la moda colombiana, como es el caso de Canadá y la Unión Europea, brindando así la posibilidad de crear prendas con valor agregado como puede ser un sello verde o un componente de responsabilidad social y ambiental en la cadena de producción (Procolombia, Exportando productos al Canadá, 2011).

En este trabajo se pretende analizar la problemática de los residuos preconsumo en la industria textil y de la confección, y proponer soluciones alternativas al mero desecho de los grandes volúmenes de material que por esta vía se generan en las empresas tipo PYMES del sector, tomando como caso de

estudio una empresa del sur del Valle del Cauca. Se busca así contribuir al mejor aprovechamiento de materiales que ya han culminado su vida útil en el ciclo de producción de vestuario proponiendo modelos de aprovechamiento rentable de los excedentes preconsumo, que minimicen la cantidad desechada y disminuyan así el impacto ambiental de una industria tan importante para la economía y la empleabilidad del Valle del Cauca.

6.2. Pregunta Problematicadora

¿Cómo se puede alcanzar un mejor aprovechamiento de los remanentes textiles posindustriales limpios, resultantes de los procesos de producción en serie, de prendas de vestir en empresas tipo PYMES del sur del Valle del Cauca?

6.3. Justificación

La actividad manufacturera y productora textil hace parte del sector secundario de la economía, y es uno de los sectores con mayor auge en la economía mundial. Es una industria de gran importancia en Colombia, que se posiciona entre los primeros países en Latinoamérica en cuanto a producción manufacturera (Propaís, 2014). Colombia cuenta con condiciones naturales para la adquisición de la materia prima, tanto de fibra sintética como natural, y para la exportación de sus productos a los mercados internacionales. Durante el año 2015 la industria textil y de la moda representó el 8,8% del PIB industrial, el 3% del PIB nacional y el 5% del total de exportaciones del país (Procolombia, 2016). En 2015 el sector textil presentó un crecimiento de 4,8% en producción, 4,3% en ventas y 0,7% en generación de empleo (DANE, 2015). La industria textil generó el 24% del empleo en el sector manufacturero en el país, con más de 200 mil empleos directos y el triple de empleos indirectos (Inexmoda, 2011).

Por otra parte, la industria de la moda se caracteriza por ser una de las más contaminantes en el mundo (Semanal, 2016), La creación, confección y producción acelerada de atuendos terminados impulsa el rendimiento productivo de la industria textil. Según estadísticas de INEXMODA, un colombiano promedio compra unas 28 prendas de ropa al año, con un promedio de consumo anual de 7 a 19 kilos de ropa, y para atender esta demanda creciente, el sector manufacturero ha desarrollado innovaciones mecánicas y tecnológicas que incrementan la fabricación en serie. En una ciudad como Bogotá y considerando un contexto de siete millones de residentes, esta cifra llevaría a la generación de 134 a 364 toneladas por día de residuos textiles (según Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos “UAESP”).

Adicionalmente, el aumento de la productividad no es proporcional al aprovechamiento del material, de modo que en el mundo se generan aproximadamente 2.100 millones de toneladas de residuos en recortes y prendas preconsumo desechadas al año (según Starmanns, M. Petrie, I., 2017). Debido a las limitaciones del diseño y patronaje, los residuos preconsumo (o post industriales) son inutilizables dentro de la cadena de valor de la industria textil, generando un desafío para el reciclaje del material. Estos incluyen todos los materiales generados durante el procesamiento industrial de textiles, que nunca llegan a los consumidores: desechos, materiales dañados o defectuosos, muestras, etc. (SMART.,2017). Solo el 20% de prendas desechadas y recortes cada año se recolecta para su reutilización o reciclaje (según Starmanns, M. and Petrie, I., 2017) El resto va a rellenos sanitarios (afirmas Bureau of International Recycling, 2018). Los impactos ambientales de estas prácticas incluyen el desprendimiento de las fibras en su mayoría de origen sintético, las cuales pueden llegar a tardar cientos de años en descomponerse, emitiendo metano y CO₂ a la atmósfera y enviando fracciones microscópicas de polímeros a las fuentes hídricas (Cambridge, 2006).

Gracias a su ubicación geográfica el país tiene acceso potencial a más de 1.400 millones de consumidores y puede obtener ventajas estratégicas de los tratados de libre comercio (TLC) que se

han establecido con Mercosur, Nafta, Estados Unidos, la Unión Europea, el Triángulo Norte, Canadá y otros, y aprovechar que la mayoría de los tratados firmados contienen preferencias arancelarias para la exportación de textiles fabricados en nuestro país (Tavera, 2014). Sin embargo, algunos de estos mercados plantean exigencias de ecoeficiencia y responsabilidad ambiental, situación que ha llevado a la apropiación de conceptos como la sostenibilidad y el consumo responsable, buscando alternativas que buscan crear conciencia, transmitiendo mensajes acerca del cuidado de los recursos naturales por medio de estrategias sostenibles para minimizar el impacto socio ambiental que genera la producción y comercialización en la industria de la moda.

Un ejemplo de ello es el mercado canadiense. Cuando los canadienses buscan productos, el 33% se fija en certificados que demuestren que los productos son responsables social y ambientalmente. Además de cumplir con los requisitos de la normativa canadiense, los exportadores pueden realizar certificaciones voluntarias adicionales que incrementen la confianza del consumidor en su producto (TFO Canadá, 2012). Dentro de los certificados aprobados que aplican para el sector textil están *Fair Trade*, *The Standards Council of Canada*, *EcoLogo program* y *The CSA Group* (Procolombia, Exportando productos al Canadá, 2011). Por todo lo anteriormente expuesto, se concluye que el desarrollo y estabilidad del sector manufacturero textil en el país enfrenta el importante reto de lograr una producción más limpia y ambientalmente sostenible, además del desarrollo de nuevos procesos logísticos, la reducción de los costos de producción y la innovación tecnológica (Tavera, 2014). En este sentido, el presente proyecto aporta elementos de análisis y propuestas de reutilización de los residuos preconsumo de las industrias textiles y de la confección en las empresas tipo PYMES del Valle del Cauca.

7. Objetivos

7.1. Objetivo general

Identificar alternativas de diseño que posibilite el reciclaje de remanentes textiles poliésteres industriales de acuerdo con las propiedades del material obtenido.

7.2. Objetivos específicos

- Transformar un material reciclado según sus propiedades en los ensayos mecánicos, térmicos y de densidad.
- Proponer un proceso para el desarrollo de un material reciclado derivado de los remanentes textiles poliésteres.
- Plantear el desarrollo de productos que aprovechen las características del material.

8. Resultados

El material remanente denominado poliéster ópalo, resultante de los procesos de producción de prendas de vestir en la planta de SF Group en Yumbo (Valle), se sometió a diversos análisis en los laboratorios del Tecnoparque SENA Nodo Norte, bajo la asesoría del Ingeniero en Materiales, Ph. D. Jherson Diaz, quien supervisó el uso de equipos, software y pruebas para la realización de las comprobaciones químicas, físicas y mecánicas que se describen a continuación.

8.1. Caracterización de la tela poliéster

8.1.1. Espectroscopía Raman

Se realizó el análisis de la muestra mediante espectroscopía RAMAN, usando un espectrómetro ReactRaman 785 Mettler Toledo (Columbus, Ohio, USA), provisto del software IC Raman (Figura 11). La espectroscopía RAMAN permite obtener información sobre la composición y características de un material a partir de la excitación de las moléculas al interactuar con un haz de luz monocromático. La luz se hace incidir sobre el material a analizar y la radiación dispersada se recoge y analiza, sin requerir tratamiento de la muestra. La información proporcionada por la espectroscopia Raman es el resultado de un proceso de dispersión de la luz, a diferencia de la espectroscopía infrarroja (IR), que genera espectros de absorción.

El espectro Raman proporciona información sobre las vibraciones intramoleculares e intermoleculares, generando una “huella molecular” característica para una molécula particular, el cual se utiliza para identificar una sustancia por comparación con un banco de registros espectrales. En la Figura 11 se observa el espectro Raman de la muestra de poliéster ópalo, mostrando dos bandas de dispersión características a frecuencias de 1620 cm^{-1} (enlace C=C) y 1730 cm^{-1} (enlace C=O) (Costa, Feitor, Alves y Bezerra, 2008). La figura 12 muestra el espectro Raman del poliéster ópalo en comparación con otros polímeros, presentando 94,59% de similitud con polietiléntereftalato (PET)

y 82.75% de similitud con polihexametilén tereftalamida, lo que es consistente con la composición del poliéster descrita atrás (92% PET: 8% elastano).

Figura 16. Espectro Raman de una muestra de poliéster ópalo, generado como desecho textil preconsumo en la planta de Studio F Group de Yumbo (Valle). Se observan dos bandas de Raman características a frecuencias de 1620 cm^{-1} (enlace C=C) y 1730 cm^{-1} (enlace C=O)

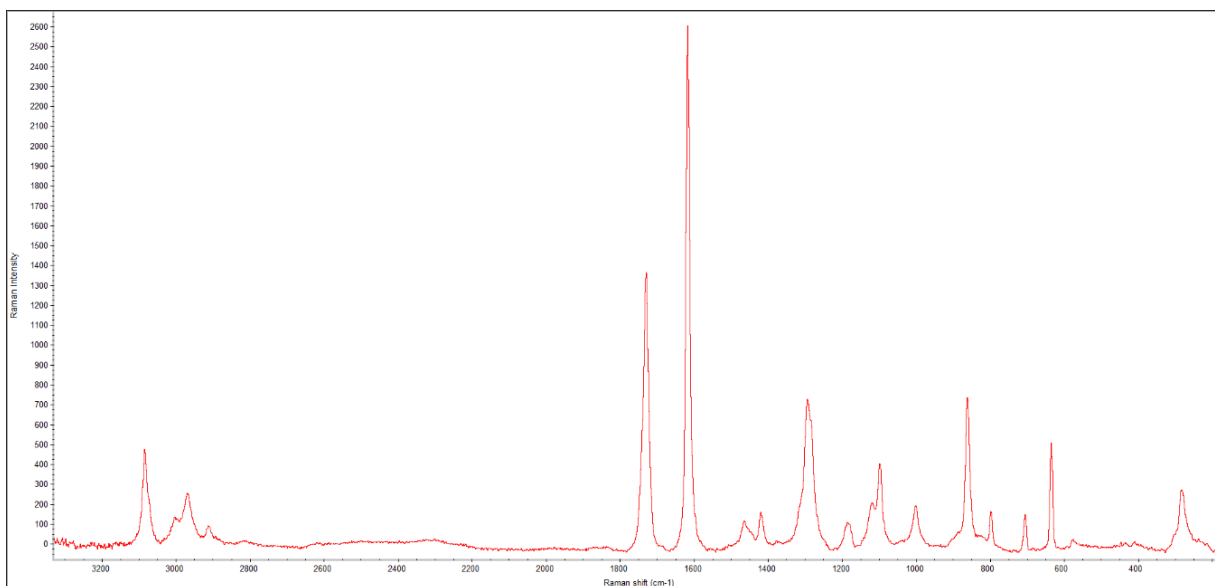
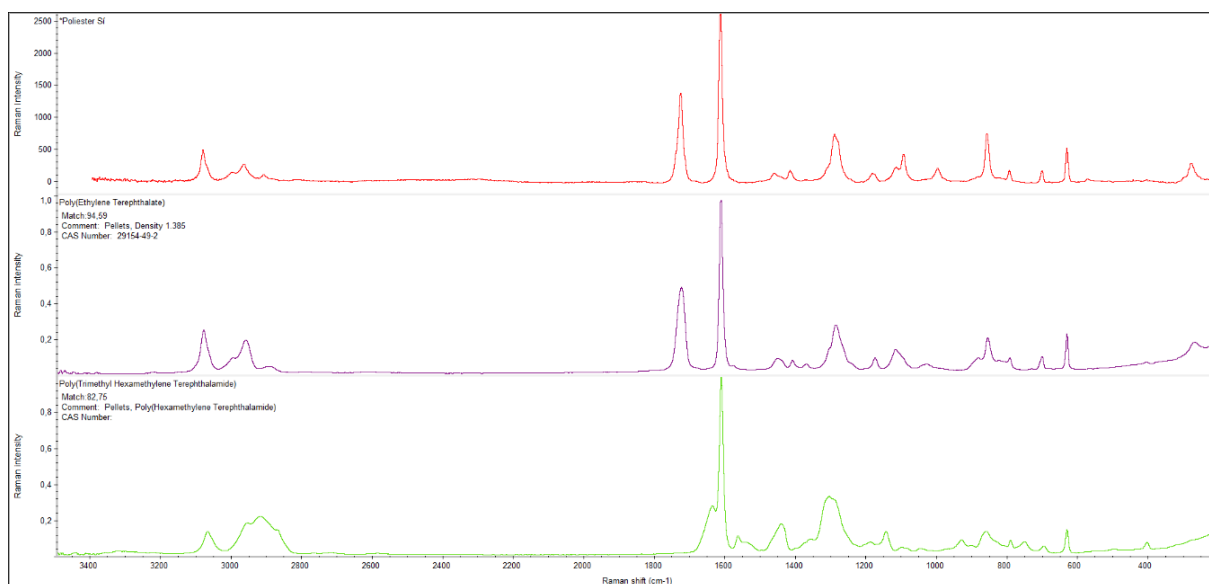


Figura 17. Espectro Raman de una muestra de poliéster ópalo, generado como desecho textil preconsumo en la planta de Studio F Group de Yumbo (Valle), en comparación con polietilén tereftalato (PET, 94,69% de similitud) y polihexametiléntereftalato (82,76% de similitud)



8.1.2. Análisis termogravimétrico TGA/DSC

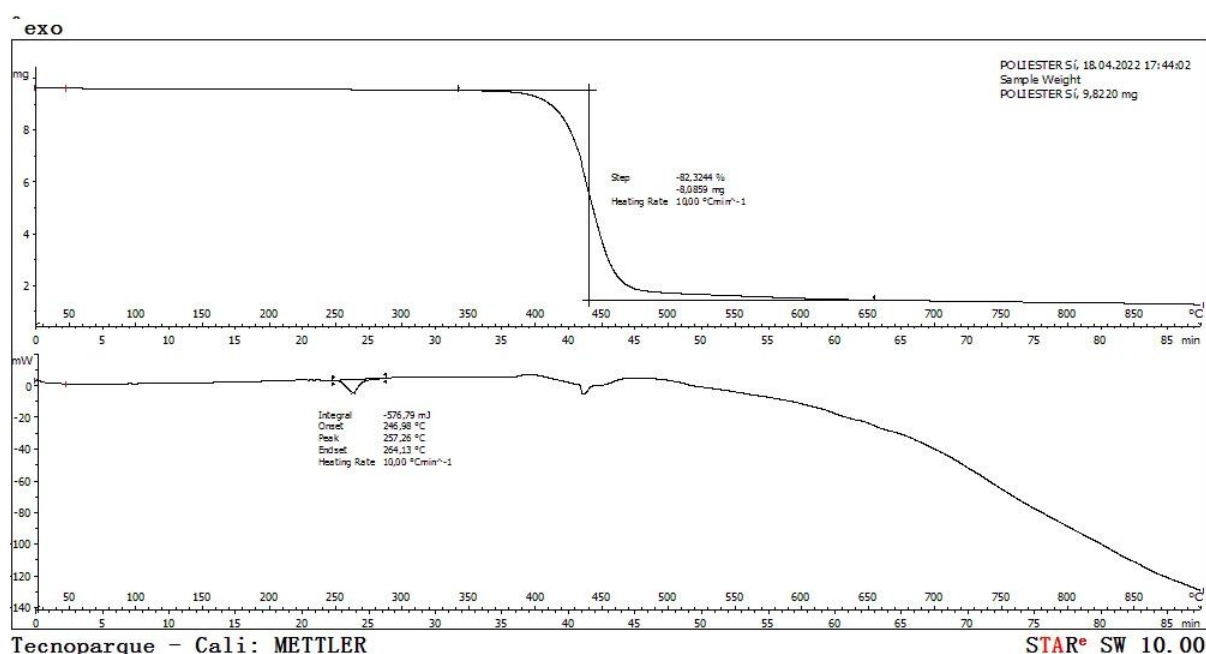
El análisis termogravimétrico simultáneo (TGA) se realizó mediante un equipo equipado con sensor de flujo calórico, TGA/DSC 1 Mettler Toledo Star System (Columbus, Ohio, USA). Para ello se pesaron 10.033 mg de poliéster ópalo y se llevaron a un crisol de alúmina de 70 microlitros, que se dispuso en la balanza del equipo TGA/DSC (Figura 18), donde la muestra se calentó bajo una atmósfera de nitrógeno, desde 25 hasta los 900°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. El TGA es un estudio térmico simultaneo que permite analizar el flujo calórico de la muestra a medida que esta se calienta en atmósfera inerte, permitiendo estudiar las propiedades térmicas del material mediante la detección de eventos como la fusión y la cristalización.

En la figura 17 se muestra la gráfica TGA/DSC de la muestra de poliéster ópalo, en la cual la temperatura de fusión se evidencia mediante la pérdida de masa en dos puntos de la curva calorimétrica diferencial de barrido DSC donde ocurre la primera fusión del material con un pico térmico entre 246,98 y 264,13°C, en tanto que se evidencia la descomposición térmica cerca a los 430°C.

Figura 18. Equipo Mettler Toledo para ensayo de TGA/DSC. La muestra de poliéster ópalo se ha dispuesto en un crisol de alúmina para ser calentada bajo atmósfera inerte desde 25 hasta 900°C.



Figura 19. Gráfica TGA/DSC obtenido del ensayo térmico de una muestra de poliéster ópalo.



8.2. Producción de placas a partir de remanentes de poliéster ópalo

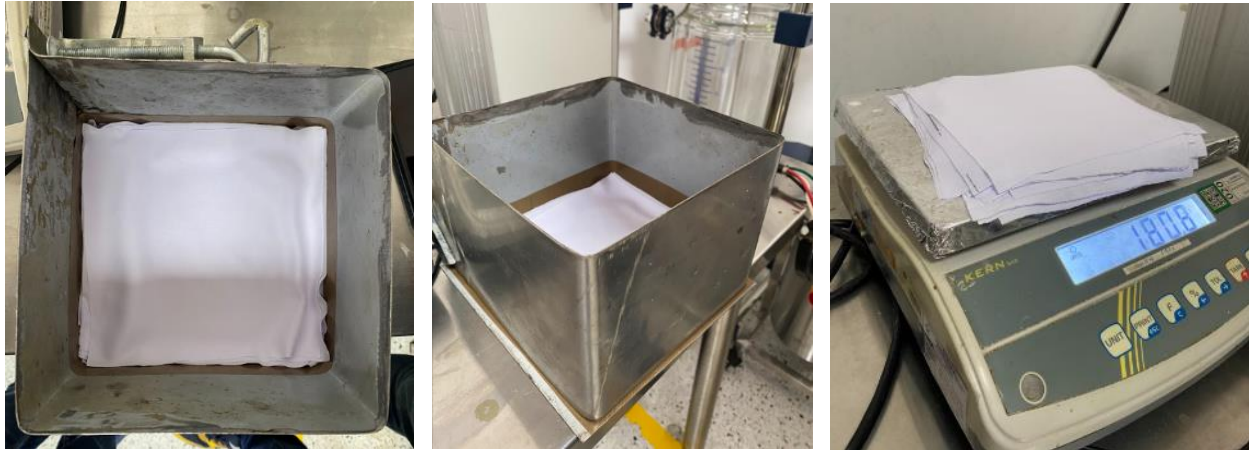
8.2.1. Acondicionamiento del molde y preparación del material

A partir de los resultados del ensayo térmico TGA/DSC del poliéster ópalo, se decidió someter el material a temperaturas entre el punto de fusión y el punto de degradación, para obtener placas por tratamiento térmico del material, en un molde rectangular de acero inoxidable de 185 x 185mm, recubierto con cinta de teflón para facilitar el desmoldado. La fusión del material en un horno cerámico se realizó a tres temperaturas: 290, 310 y 330°C. La muestra de poliéster ópalo se cortó a medida del molde y se pesó en balanza analítica (figura 18).

8.2.2. Obtención de placas fundidas por tratamiento térmico del material

Las muestras cortadas y apiladas se pesaron para obtener placas con espesor de 4mm, que permitan extraer las probetas para las pruebas térmicas y mecánicas de acuerdo con la norma ASTM-D638 (2019), que especifica los espesores reglamentarios mínimos para la realización de ensayos plásticos.

Figura 20. Preparación de las muestras de poliéster ópalo obtenidas de remanentes textiles en la planta de producción de Studio F Group en Yumbo (Valle). Las muestras se cortaron, pesaron y se dispusieron en un molde de acero inoxidable recubierto con cinta de te



Para estimar la masa de tela necesaria, se tomó como valor de densidad del PET $1,38 \text{ g/cm}^3$ (PET densidad, resistencia, punto de fusión, conductividad térmica., 2022) y se realizó el cálculo de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{m}{v} = 1,38 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m = \rho * v$$

Medidas de la placa según molde: 185 mm x 185 mm

Grosor de la placa para obtener las probetas: 4 mm

$$m = \frac{1,38 \text{ g}}{\text{cm}^3} * (18,5 * 18,5 * 0,4) \text{ cm}^3$$

$$m = 188,922 \text{ g}$$

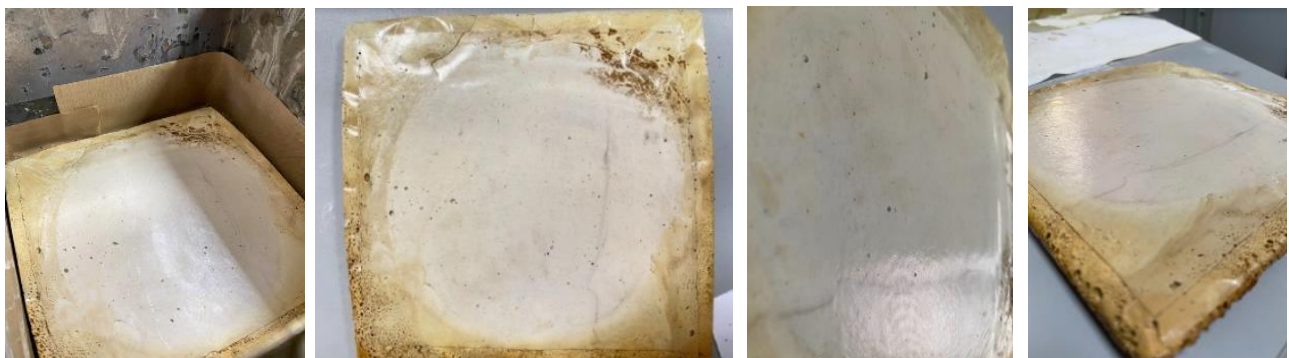
De acuerdo con este resultado, se pesaron 180,8g de poliéster ópalo, se dispusieron en el molde de acero, que luego se llevó al horno mufla y se calentó a una temperatura de 290°C durante 40 minutos (Figura 20). El procedimiento se repitió con muestra idénticas, a 310 y 330°C con el fin de evaluar el comportamiento del material en función de la temperatura de fusión a la cual fue sometido. El material

obtenido mediante fusión a una temperatura de 290°C durante 40 minutos se extrajo y desmoldó. Se obtuvo una placa fundida homogéneamente, de apariencia brillante y parcialmente lisa al tacto, con rugosidades en los bordes debido a la presencia de burbujas de aire desplazadas durante el tratamiento térmico (Figura 21). Se evidencia el cambio de tonalidad radial del beige al café claro, con degradación cromática, que simula una apariencia estética similar a las estrías arborescentes encontradas habitualmente en el mármol.

Figura 21. Fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo en molde de acero calentado en horno mufla a tres temperaturas diferentes.



Figura 22. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 290°C.



Las muestras sometidas a temperatura de 310°C durante 40 minutos exhibieron uno de los mejores resultados, mostrando una fusión homogénea, que resulta en una apariencia áspera, brillante y lisa al

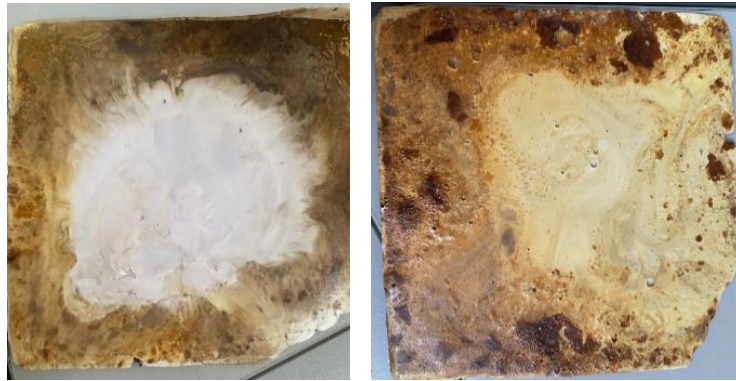
tacto, según se observa en la figura 22. Se evidencia una mínima presencia de burbujas a lo largo de la placa, lo que puede representar mayor resistencia a las fallas. Además, el material mostró propiedades plásticas, con una capacidad óptima para fluir a lo largo del molde, copiándolo perfectamente. Cabe destacar que las tonalidades generadas son estéticamente agradables, ya que simulan patrones habitualmente encontradas en piedras naturales.

Por último, la muestra sometida a 330°C de temperatura durante 40 minutos produjo una placa plástica fundida homogéneamente, que al ser desmoldada muestra áreas agrietadas e irregulares en la superficie. Presenta una apariencia brillante, parcialmente lisa al tacto, con áreas rugosas, ásperas y porosas en los bordes, producidas por numerosas burbujas pequeñas que le dan fragilidad en los bordes y dureza en el área central (Figura 23). Por otro lado, las tonalidades observadas sugieren que el material se fundió de forma brusca, mostrando coloración blanca en la parte central, y café oscuro en los extremos de la placa.

Figura 23. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 310°C.



Figura 24. Aspecto, textura y coloración de la placa obtenida mediante fusión térmica de las muestras de poliéster ópalo a 330°C.



8.3 Obtención de probetas tipo hueso para realización de ensayos de tensión en materiales plásticos según la norma ASTM-D638

A partir de las placas obtenidas por fusión térmica del poliéster ópalo, se extrajeron mediante corte láser, series de probetas rectangulares tipo hueso de dimensiones adecuadas para realizar ensayos en materiales plásticos de acuerdo con la norma ASTM-D638 (Figura 25). Los bordes se pulieron con lija suave para retirar la rebaba del corte y con un calibrador pie de rey se verificaron las dimensiones de las probetas aptas para realizar los ensayos mecánicos de tensión, descartando las que no cumplían con la norma ASTM-D638. Se obtuvieron por placa, 5 a 6 probetas de 188 mm de largo x 129 mm de ancho con espesor de 4mm y área transversal de 56,76 mm².

Figura 25. Extracción de probetas tipo hueso mediante corte láser a partir de la placa obtenida por fusión térmica del poliéster ópalo

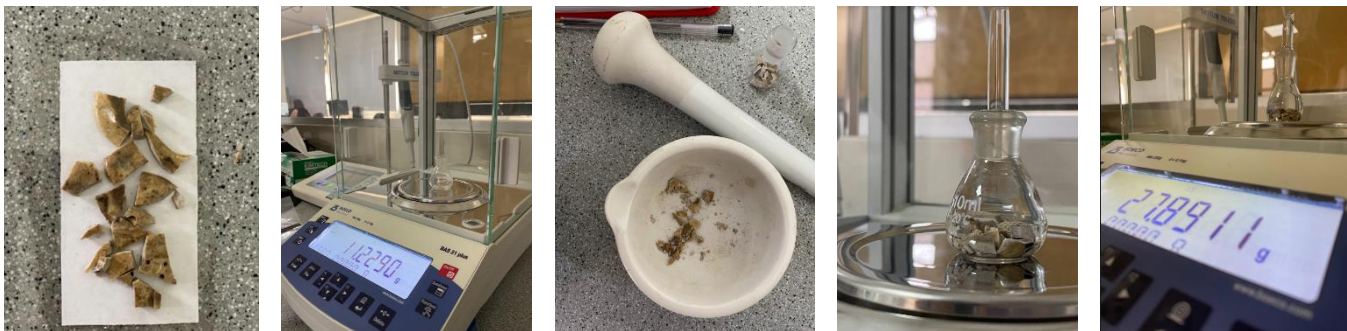


8.4. Caracterización del material fundido

8.4.1. Determinación de la densidad

La densidad del material se determinó mediante picnometría (figura 26). En una balanza analítica se pesó un picnómetro de 10ml vacío. Una fracción de la muestra macerada en un mortero de alúmina se llevó al picnómetro, que se pesó con la muestra incluida. Se agregó agua destilada, se tapó y se pesó nuevamente.

Figura 26. Determinación de la densidad de la placa obtenida por fusión térmica del poliéster ópalo.



M1= Masa picnómetro.

M2= Masa picnómetro + masa del material.

M3= Masa total (masa del material + masa picnómetro + masa de agua).

Tabla 4. Masa del ensayo de densidad

	M1	M2	M3
1	17,0891	19,2414	27,8903
2	11,2292	12,8698	21,7398

$$\rho = \frac{m}{v}$$

M1= 2,1523g

M2= 10,325g

$$v = \frac{m^3 - m}{d \text{ agua}} = 8,6489$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{(8,6489\text{g})}{0,9753} =$$

$$V_{\text{agua}} = 8,6703 \text{ m}$$

$$V_{\text{mat}} = T \text{ píc} - V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{mat}} = 10,325 - 8,6703 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{mat}1} = 1,6547 \text{ cm}^3$$

$$\partial_1 = \frac{2,1523}{1,6547} = 1,301 \text{ g/ml}$$

$$m_2 = 1,6406$$

$$V_{\text{agua}^2} = \frac{8,87\text{g}}{0,99753 \text{ g/ml}} = 8,8920$$

$$V_{2\text{mat}+} = T \text{ pic} - V_{\text{agua}}$$

$$V_{2\text{m}1} = 10 \text{ ml} - 8,8920$$

$$V_{2\text{m}2} = 1,108 \text{ ml}$$

$$\partial_2 = \frac{m_2}{v_2} = \frac{1,6406 \text{ g}}{1,108 \text{ ml}}$$

$$\partial_2 = 1,4807 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

8.4.2. Resistencia a la tensión

Utilizando un calibrador pie de rey se examinaron las probetas extraídas a partir de las placas obtenidas mediante fusión térmica del material, y se seleccionaron las probetas de dimensiones adecuadas para los ensayos mecánicos de tensión, descartando las que no cumplieran con la norma ASTM-D638, que establece las condiciones para determinación de las propiedades mecánicas de resistencia y tenacidad de los materiales sometido a deformación, a partir de esfuerzos axiales o

uniaxiales (Figura 27). Las dimensiones de las probetas fueron: 188 mm de largo x 129 mm de ancho x 4 mm de grosor. Los ensayos de tensión se realizaron en una maquina universal de ensayos, a una velocidad de desplazamiento de 3 mm/min, con distancia entre agarres de 100 mm (Figura 28). El software se alimentó con los datos de grosor y ancho de las probetas, para graficar la curva de deformación que se genera al someter el material a esfuerzos de tensión, y evaluar su elasticidad hasta llegar a la falla o rotura (Figura 29).

Figura 27. Extracción mediante corte láser de probetas rectangulares tipo hueso para ensayos mecánicos, a partir de placas obtenidas por fusión térmica del poliéster ópalo, según la norma ASTM-D638.

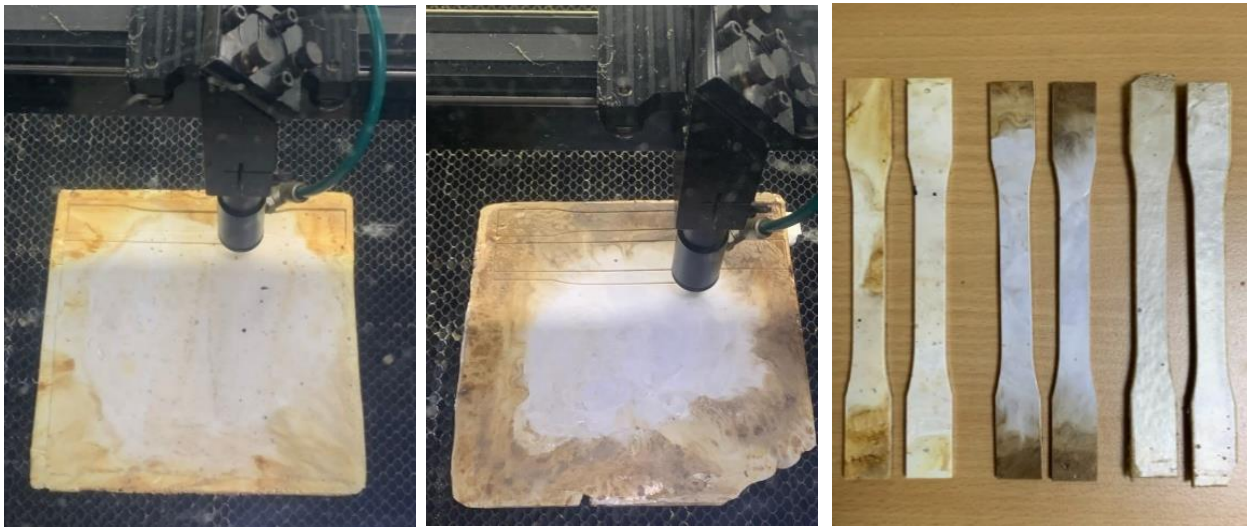


Figura 28. Probetas rectangulares tipo hueso sometidas a ensayos de tensión según la norma ASTM-D638.



En la tabla 5 y la figura 29, se sintetizan los resultados de las pruebas de esfuerzo de tensión de las probetas obtenidas a partir de placas fundidas a diferentes temperaturas (290, 310 y 330°C). Las probetas resultantes de la fusión térmica de poliéster ópalo a 290°C y 310°C, sometidas a ensayos de tensión, presentaron un rango de deformación entre 1,1902% y 1,4355% con un esfuerzo máximo de 4,45 MPa hasta llegar a la falla, en un tiempo de 29 a 31 segundos. La muestra obtenida a 330°C no se sometió a este ensayo debido a su fragilidad.

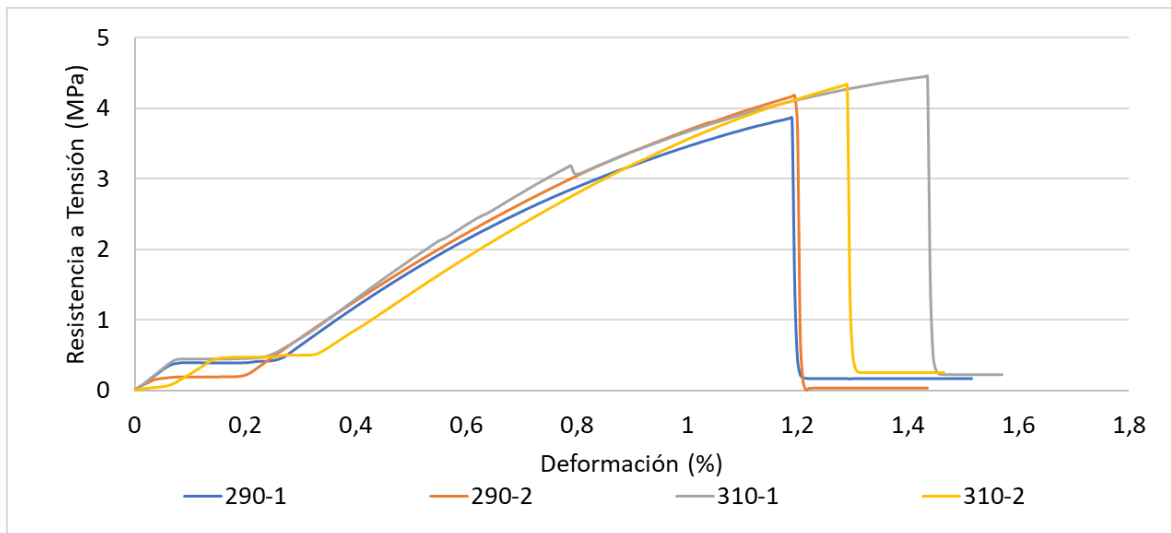
Tabla 5. Resultados del ensayo de resistencia a la tensión en probetas tipo hueso, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.

Resultados de las pruebas de resistencia a la tensión					
Probetas (T. H.)	Carga máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Desplazamiento Máximo (MPa)	Deformación Máxima (%)	Duración (s)
290-1	219.1409	3,8608	1,1902	1,1902	31
290-2	237.4670	4.1837	1.1952	1.1952	29,4
290-3	252.9921	4.4572	1.4355	1.4355	32
310-1	246.0095	4.3342	1.2903	1.2903	30
310-2	327.5053	4.0082	1.2753	1.2753	31
330-1	DESCARTADO , ya que la muestra sometida a temperatura de 330°C falló antes de lo que determina la norma ASTM D638 en áreas cerca a la mordaza, no afines con el área transversal.				
330-2					
330-3					

Figura 29. Resultados del ensayo de resistencia a la tensión en probetas tipo hueso, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.



Figura 30. Resistencia a la tensión (MPa) en función del porcentaje de deformación



Nota. probetas tipo hueso, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a 290°C y 310°C.

En la figura 31 se muestra la gráfica de resistencia a la tensión (MPa) en función del porcentaje de deformación de las probetas tipo hueso extraídas de placas de poliéster ópalo fundidas a 290°C y 310°C. En el ensayo de tensión, las probetas presentaron una región elástica similar, con deformación entre 1,2 y 1,4% hasta fallar de forma frágil a una tensión cercana a los 4 MPa. La probeta fundida a 310°C presenta mayor esfuerzo máximo y deformación porcentual, lo que es atribuible a la mejor homogenización del material durante la fusión térmica. No se evidenció plasticidad en el curso de los ensayos. Las probetas fundidas a 330°C no se sometieron al ensayo.

8.4.3 Resistencia a la flexión a tres puntos

A partir del material fundido se extrajeron mediante corte laser probetas rectangulares, se pulieron los bordes con lija para retirar la rebaba del corte y mediante un calibrador pie de rey se seleccionaron las probetas aptas para realizar los ensayos mecánicos de resistencia a la flexión, según las dimensiones exigidas en la norma ASTM-D638 (18,8 mm de ancho x 65 mm de largo x 4 mm de

espesor). Se realizó la prueba con una velocidad de ensayo de 1 mm/min con distancia entre apoyos de 100 mm (Figura 31).

Figura 31. Probetas rectangulares sometidas a ensayos de flexión según la norma ASTM-D638.



Tabla 6. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión en probetas rectangulares, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas.

Resultados del ensayo de flexión				
Probetas (T. H)	Fuerza Máxima (N)	Desplazamiento Máximo (mm)	Duración (s)	Esfuerzo Máximo de flexión (σ , MPa)
290-1	60.0226	5.4835	177	2,99
290-2	68.2723	5.9442	185	3,44
290-3	41.8460	5.1164	164	2,08
310-1	84.8703	6.9855	217	4,23
310-2	35.7795	4.4789	143	1,78
310-3	54.805	5.0027	156	2,73
330-1	42.4602	6.4612	401	2,11
330-2	49.2209	5.5336	174	2,45

El esfuerzo máximo σ (MPa) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{3F \cdot L}{2H \cdot d^2}, \text{ donde:}$$

F: fuerza máxima

L: longitud entre apoyos (100 mm)

H: ancho (18,8mm)

d: espesor (4mm)

Figura 32. Resistencia a la flexión tensión (N) en función del desplazamiento (mm), de probetas rectangulares obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a 290°C, 310°C y 330°C.

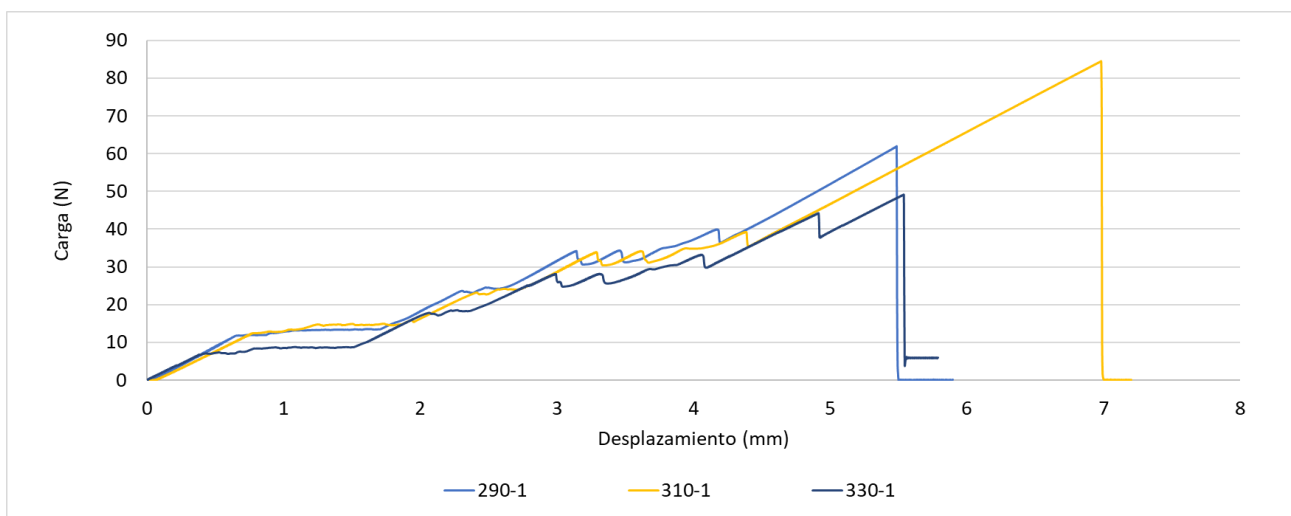


Figura 33. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión en probetas rectangulares, obtenidas mediante fusión térmica del remanente poliéster ópalo a varias temperaturas



8.4.4. Costo de elaboración del material

Una estimación muy aproximada del costo de preparación de las placas de poliéster ópalo se obtiene considerando la potencia máxima del horno mufla utilizado (2600 W), utilizado durante 40 minutos (0,67 h), lo cual arroja un consumo energético de 1,73 kW/h. Tomando como base un precio de COP700 para el kW/h en zonas industriales de Cali, se estima en COP1.213 el costo de producir 180 g de la placa de poliéster ópalo fundido. Esta es una aproximación gruesa porque el horno mufla debe funcionar a 310°C para fundir la placa, y no a su temperatura máxima (1200°C). Con esta aproximación, el costo del poliéster reciclado es de COP6,73 por g, de modo que un kg de material costaría COP6.730, valor muy superior al del PET cristal recuperado, que tenía un precio de COP2.453/kg, a mayo del 2022 (https://www.plas-tic.org/precios_de_reciclaje). Teniendo en cuenta que la operación industrializada y a escala debería reducir sustancialmente el costo, y que se deberían agregar costos como el transporte desde las plantas de producción, se concluye que esta aproximación muestra un panorama de viabilidad para el reciclaje del poliéster ópalo, teniendo en cuenta que no se consume agua ni agentes químicos en el proceso, y que el remanente se pueda obtener sin costo.

9. Matriz de requerimientos y Determinantes

Tabla 7. Matriz de requerimientos/Determinantes/Deseos (PSD) Product design specifications.

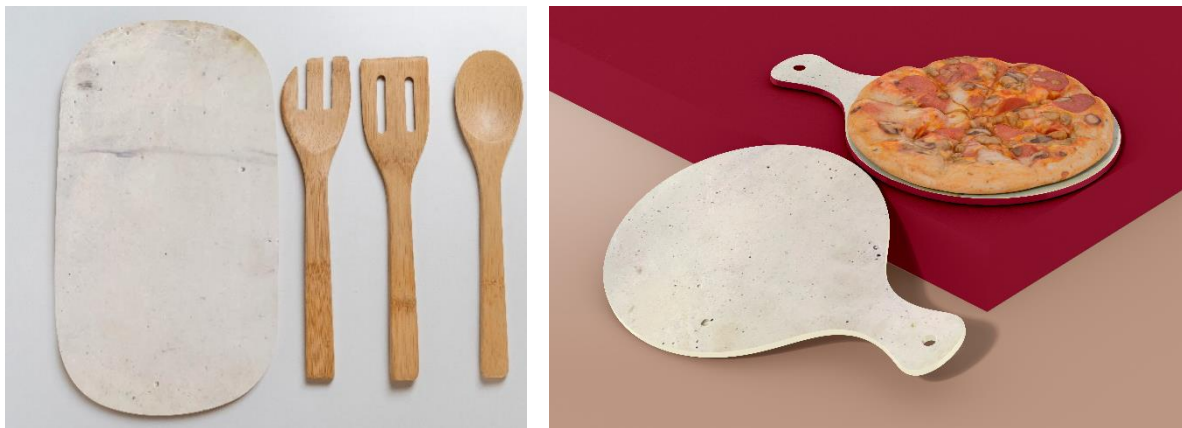
Tipo	Necesidad	Requerimiento	Medida	Valor	Deseo/Obligación	Componente		
						EC	FO	TP
Apariencia estética	Apariencia estética agradable.	Presente formas simples	Figuras orgánicas no figurativas.	Naturaleza	Deseo	X		
Confiabilidad	Exposición o contacto con líquidos.	No se pudra o absorba la humedad.	Procesos térmicos en horno cerámico (<i>mufla</i>).	220 a 310°C	Obligación		X	X
Ergonomía	El usuario pueda manipularlo fácilmente al realizar agarre o asir.	Intuitivo y fácil de usar.	Alcances y medidas antropométricas.	Antropometría de extremidades superiores e inferiores.	Obligación	X	X	X
Mantenimiento	El producto se mantenga limpio	Resistir al contacto con la humedad u otros microorganismos o baterías.	Superficies lisas, no porosas, su morfología debe ser formas simples, sin curvas prolongadas o ángulos cerrados.	Cualidades físicas del material.	Obligación		X	
Funcionalidad	El objeto pueda ser intervenido para prolongar o mejorar sus características	Materialidad estable.	Resista rayaduras conservado su apariencia estética por lapso extenso.	Manipulación o contacto con el usuario	Deseo	X		
Seguridad	No transfiera calor	El producto sea un aislante térmico.	Proteger al usuario en la manipulación de objetos calientes.	>100°C	Obligación		X	
Apariencia estética	Atractivo en distintos contextos o usos	Personalizarse	Pigmentarse o adherir accesorios	Acabados manuales	Deseo	X		
Confiabilidad	Respetuoso con el medio ambiente.	Eco amigable con el ambiente.	Impacto ambiental.	Composición y materialidad	Obligación.		X	X
Funcionalidad	Se puede intervenir	Fácil mecanizado y aserrado	Acabados o modificaciones	Herramientas y mecanizado.				
Seguridad	El usuario no tenga riesgo físico en la manipulación o uso.	Proteger o brindar seguridad	Medidas de acuerdo con el producto	Mm, cm, m	Obligación		X	
Apariencia estética	Armonía visual en diversos espacios	Presente colores tenues que se mimeticen en un espacio determinado	Triadas, tétradas, análogos, monocromáticas con tonalidades comúnmente hallas en la naturaleza	PANTONE o paletas de color cálidas.	Deseo	X		

Nota. (EC) Estético comunicativo, (TP) Técnico productivo. (FO) Funcional Operativo.

9.2. Accesorios o utensilios de cocina

Las piedras naturales como el mármol brindan una ambientación moderna en un contexto determinado, temática que hoy en día es tendencia en el diseño de interiores, sin embargo, este tipo de material tiende a ser de elevado costo, lo cual limita su adquisición a solo un tipo de público en particular. En cambio, el desarrollo del material transformado brinda la posibilidad de adquirir productos que simulen la apariencia de dicho material, estos pueden variar según la función, desde soportes para accesorios de cocina, porta calientes, soporte para cucharas, utensilios, organizador de accesorios o alhajas, soporte para velas de incienso, ceniceros entre otros (Figura 33,34,35 y 36).

Figura 34. Soporte para utensilios o elementos calientes



Nota. Simulación de porta calientes rectangular con redondeo en los bordes (*Izq*) con aplicación del material real y soporte circular con asa (*Der*). El producto no se deforma fácilmente, es aislante térmico lo cual hace que no transfiera calor al disponer sobre la superficie objetos calientes como ollas o sartenes. No se pudre ya que el material al ser derivado de un polímero cuenta con propiedades resistentes a hongos o bacterias.

Figura 35. Soporte para cucharones



Nota. El producto no absorbe humedad, es de fácil mantenimiento, el material es inoloro, cuenta con una apariencia estética agradable, permite fijar, sujetar o adherir otros materiales ya sean siliconas antideslizantes u otros accesorios. Cuenta con apariencia brillante, suave y lisa al tacto.

Figura 36. Soporte para embetunar tortas



Nota. El producto cuenta con gran dureza, es por ello por lo que se puede aserrar fácilmente haciendo uso de sierra de disco, ingletador, cortadora de banco, caladora o cortadora laser, en caso perfeccionar

bordes y mejorar acabados estéticos es posible hacer uso de pulidora, lijadora orbital o motortool, el material permite realizar perforaciones fisurarse o quebrarse para el ajuste de mecanismos que permitan la rotación sobre su mismo eje. Es de fácil mantenimiento, instalación rápida y sencilla, además es ligero en comparación con productos cerámicos.

Figura 37. Soporte para velas de incienso



Nota. Simulación de un soporte con acople para velas de incienso (*Izq*) con aplicación del material real y soporte rectangular con redondeo en los bordes (*Der*) *diseño un poco más simple para depositar verlas de incienso.* El producto permite realizar personalizaciones ya que se puede pigmentar fácilmente haciendo uso de pinturas a base de aceite, pinturas sintéticas o de poliuretano, pintura en aerosol, entre otro. Puede mantener durante mucho tiempo la estabilidad del material. Es de fácil mantenimiento.

9.3 Elementos de oficina

Esta propuesta de portalápices de oficina obtenido a partir del material fundido (Figura 37) muestra la practicidad que brinda en espacios escolares, estudios y oficinas, pues además de organizar útiles permite la ambientación de espacios. El proceso de mecanizado puede realizarse de forma sencilla, ya que las características del material permiten adherirse, fijarse o juntarse fácilmente por medio de adhesivos resistentes.

Figura 38. Organizador o porta lápices (Modelado 3D).



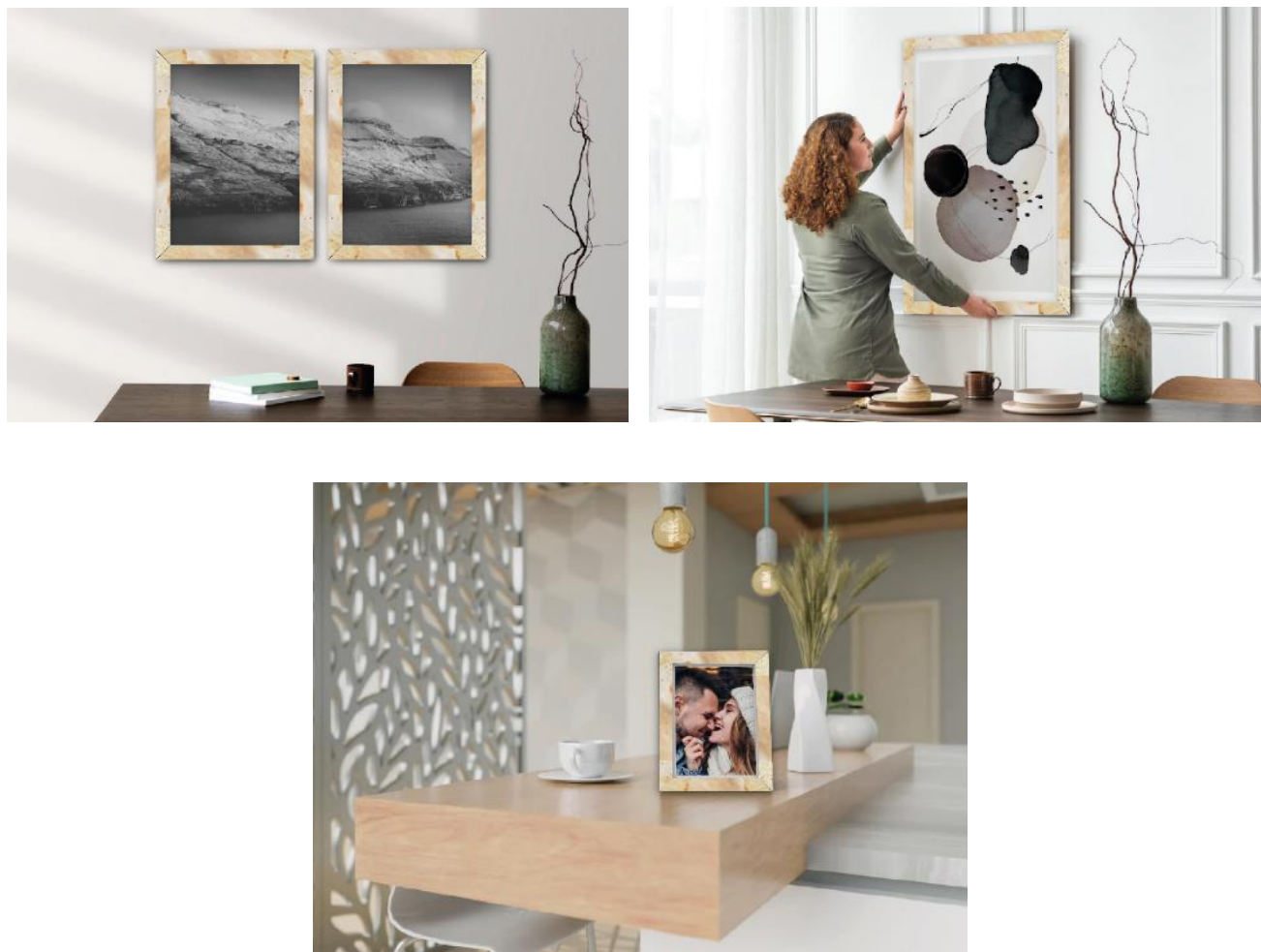
Nota. El material no se deteriora al contacto con lacas, aerosoles o barniz, permite pulirse, brillarse o esmerilarse sin generar fisuras o fracturas.

9.4 Marquetería

Esta propuesta de material fundido para la fabricación de marcos o portarretratos (Figura 38) brinda la posibilidad de reemplazar el material de origen orgánico *que utilizan recursos naturales para su elaboración*, por un material reciclado que propone una alternativa más sostenible ya que se deriva

de un remanente transformado el cual se le ha prolongado su vida útil, además de concientizar al público de optar por productos de origen reciclado en vez de artículos de primera mano.

Figura 39. Marcos y Portarretratos.

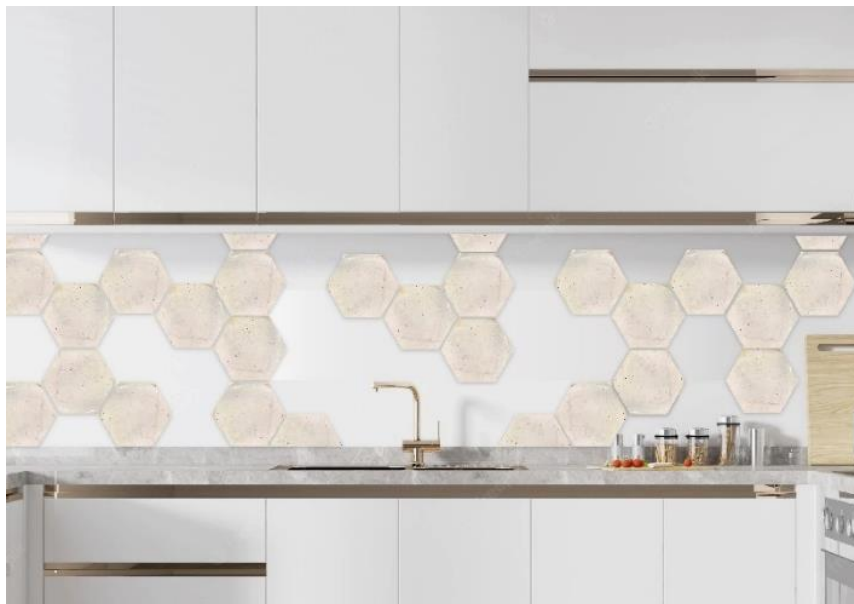


Nota. El producto permite realizar perforaciones, ajuste de bisagras o mecanismo móviles, uniones o fijar secciones del material en diferentes ángulos por medio de un agente adhesivo.

9.5 Azulejos para cocinas integrales

La propuesta de material fundido como azulejo o cenefa decorativa para ambientación y diseño de espacios en cocinas integrales (Figura 39) cuenta con características estéticas agradables que simulan patrones arborescentes muy comunes en piedras naturales, atributos visuales que hoy en día resultan ser muy atractivos en el diseño de cocinas modernas, pues estos denotan limpieza y elegancia, además presenta cualidades de permeabilidad que permite fácil limpieza de salpicaduras o manchas habituales al cocinar, en caso tal, que el diseño requiera alguna figura o forma específica el material permite mecanizar cortes sin fracturarse o deformarse. **Figura 39** *Material aplicado en diseños de cocinas integrales*

Figura 40. Marcos o portarretratos



Nota. Simulación de azulejos para acabado estéticos en cocinas integrales u otro tipo de espacios que deseen intervenir en el diseño de interiores.

10. Discusión

Las placas obtenidas a partir del poliéster ópalo por fusión a 310°C en horno mufla, presentan las mejores propiedades de resistencia a la tensión (carga máxima de 246 a 327,5 N y esfuerzo máximo de 4.3 a 4.45 MPa) y a la flexión (35 a 54 N), en comparación con las placas fundidas a 290 y 330°C, así como la mejor apariencia estética, mostrando una fusión uniforme del material. El material presenta apenas un 20% de la resistencia tensil del PET virgen (V-PET, hasta 1500 N), lo que se explica por la degradación mecánica del PET durante el reciclado y el efecto del elastano que constituye el 8% del poliéster ópalo. Este proceso de reciclado usa el termoformado para generar un material con nuevas aplicaciones, que no exijan materiales con grandes propiedades de tenacidad y resistencia, como se mencionó arriba. Otros ejemplos de productos generados a partir de fibras reprocesadas por este método incluyen la fabricación de telas tejidas, materiales de tapicería, materiales compuestos, forros de prendas de vestir, artículos para el hogar, tapicería de muebles, materiales de aislamiento, alfombras y materiales aislantes acústicos en automóviles y juguetes (Albini, Brunella, Placenza, Martorana y Lambertini, 2018).

Otros métodos de reciclaje de fibras textiles incluyen el reciclaje mecánico, el más sencillo y universalmente usado. En éste, los materiales se muelen, funden y extruyen para obtener hilos y fibras para aplicaciones textiles, o se procesan como productos no tejidos, base de alfombras, aislantes acústicos, aislantes térmicos, materiales geotextiles, material de filtración, entre otros. En el reciclaje químico, las fibras se separan químicamente, se degradan y luego se vuelven a polimerizar en nuevas fibras. El método de reciclaje químico se aplica a las fibras sintéticas y sus mezclas. Es más complejo y en general más costoso, aunque las fibras regeneradas tienen casi las mismas propiedades de las fibras vírgenes con lo cual realmente se reincorporan de forma circular a la producción (Albini et al., 2018).

Por último, se encuentran los materiales composites, que utilizan mezclas de fibras vegetales como celulosa (bambú, yute, algodón, hojas de piña y fibra de coco y bagazo de caña de azúcar) y resinas de poliéster recicladas mediante métodos químicos, para generar materiales con nuevas propiedades y múltiples usos (Kaliappan, 2022). Un ejemplo es el Demodé, composite elaborado por la diseñadora chilena Bernardita Marambio, reutilizando residuos textiles de las fábricas de Santiago. Para este material, la diseñadora utiliza residuos textiles, aglomerados con un pegante 100% biodegradable hecho a base de almidón, que le da resistencia estructural. El material es sellado con un “lavado verde”. El composite es altamente resistente y se puede cortar, taladrar, pulir, atomillar, y trabajar en moldes para la obtención de productos como muebles y mesas (Costa, Monteiro, Rangel y Alves, 2017).

11. Conclusiones y recomendaciones

La industria textil y de la moda es un renglón fundamental de la economía colombiana, y un factor de desarrollo de la región vallecaucana. Da cuenta del 7,5% del PIB manufacturero y el 3% del PIB nacional, y en 2011 generaba unos 800.000 empleos, entre directos e indirectos (Inexmoda, 2011). Es una industria que ha ganado reconocimiento a nivel mundial, a través de eventos como Colombia Moda y Colombiatex (Espinel-González, Aparicio Soto, & Mora, 2018). Actualmente presenta una fuerte competencia de las importaciones asiáticas, y el reto de enfrentar mediante soluciones originales, su justificada fama de ser la segunda industria más contaminante.

En general, los desechos textiles se clasifican en dos categorías. Los remanentes posconsumo, es decir la ropa y accesorios usados y desechados por los clientes, de los cuales hasta el 95% podrían reutilizarse y reciclarse. Y los excedentes preconsumo, que se estima alcanzan entre el 20 y el 25% (hasta 34%, según otras fuentes) del material textil usado en la producción de prendas de vestir. Los remanentes preconsumo, también llamados excedentes posindustriales, son materiales limpios, excedentes del proceso industrial que no han entrado en contacto con el consumidor, y son retirados de la cadena de producción porque carecen de las propiedades o dimensiones adecuadas. En ambos casos, la mayor parte de los desechos producidos va a parar a los basureros y rellenos sanitarios del mundo, donde las fibras textiles, cada vez con mayor porcentaje de polímeros sintéticos, tardan cientos de años en descomponerse. Desafortunadamente, la introducción de tecnologías computarizadas en los procesos de corte no ayuda a reducir de forma significativa este tipo de desperdicio (Dobilsaite, 2017).

En el presente proyecto se estudian posibilidades de reciclaje del poliéster ópalo (mezcla de 92% PET y 8% elastano), principal remanente preconsumo de la fabricación de prendas en la planta de Studio

F Group en Yumbo (Valle). El material se funde a 310°C generando placas plásticas rígidas, termomoldeables y termoestables, estéticamente agradable, con coloración que simula piedras naturales como el mármol. Su densidad está entre 1,301 y 1,49 g/cm³. Se funde entre los 246,98 y 264,13°C, y se degrada a una temperatura de 430°C, según las pruebas termogravimétricas (TGA/DSC). Presenta una resistencia máxima a la tensión de 4,45 MPa y a la flexión de 84,83 N, mucho menores que las del PET virgen (V-PET), según las pruebas realizadas (norma ASTM-D638), fallando sin deformación plástica. Entre las propiedades del material, se destacan: es liviano, fácilmente mecanizable (cortado, aserrado, pulido, perforado, pegado), resistente a la humedad, lavable, higiénico, resistente a los hongos y bacterias, y se puede pigmentar con pinturas y pigmentos de base oleosa. Su tenacidad y resistencia a la flexión, aunque menores que las del V-PET, son suficientes para permitir la construcción de accesorios decorativos y funcionales en interiores (portalápices, portavelas) y cocinas (portacalientes, portautensilios), la utilización como material de mampostería (azulejos decorativos en cocina), y su uso como sustituto de la madera (en marquetería, molduras).

La propuesta presentada en el presente trabajo busca responder la pregunta problematizadora planteada en la presentación del problema de investigación: ¿Cómo se puede alcanzar un mejor aprovechamiento de los remanentes textiles posindustriales limpios, resultantes de los procesos de producción en serie, de prendas de vestir en empresas tipo PYMES del sur del Valle del Cauca? Sin embargo, para resolver este problema es necesario que se reorganice el proceso de diseño de prendas, enfocándose en métodos de producción con cero desperdicios. Las fibras sintéticas y las mezclas de fibras sintéticas y naturales pueden reutilizarse en la elaboración de nuevos productos, como se ha mostrado en este trabajo de investigación, pero es necesario que la clasificación de las fibras se realice durante el proceso de corte teniendo en cuenta la composición de las fibras informada por el fabricante, pues conocer esta información facilita el reciclaje.

En consecuencia, una recomendación importante para los productores textiles como parte de su compromiso con la producción más limpia, es que la separación se haga durante el proceso, y que el material tenga el mínimo tiempo de almacenamiento, para evitar que se ensucie o humedezca, y para reducir costos por desaprovechamiento de espacio en planta. Para ello, podrían articularse con pequeños microempresarios dispuestos a reciclar el material, y apoyar sus iniciativas (por ejemplo, aprovechando los amplios canales de difusión que usa la industria de la moda, para dar a conocer las iniciativas de reciclaje). Parte del reciclaje, como se mencionó antes, se da a través de la elaboración artesanal de pequeñas confecciones, cojines y almohadas, pero este es un uso limitado por las dimensiones de los remanentes (tiras largas y estrechas) y las exigencias de higiene y biocompatibilidad de los materiales usados como relleno. Por tanto, se recomienda explorar, además del reciclaje mediante tratamiento térmico, como se propone en el presente trabajo, el reciclado mecánico, mediante trituración de los remanentes, fundido y extrusión para formar nuevas fibras o pellets; este es tal vez el proceso más extendido, por resultar sencillo y económico. También, se recomienda explorar el reciclaje químico, en el cual el material se lleva casi al mismo estado de la fibra virgen; aunque este proceso resulta más complejo, resuelve el problema de la degradación del material que se observa en el reciclado térmico y en el reciclado mecánico. Por último, es recomendable explorar la utilización del poliéster ópalo en la preparación de materiales composites (por ejemplo, mezclas de fibras naturales y sintéticas).

12. Referencias

- ABIT. (2015). Relatório de atividades, São Paulo. Retrieved, December 2, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção.
https://abit.org.br/conteudo/informativos/relatorio_atividades/2015/relatorio2015.pdf
- Abuchaibe M, D (2019). Aprovechamiento y transformación de residuos textiles para el desarrollo de accesorios complementarios de moda. Proyecto Final de Diseño Industrial Facultad de Arquitectura y Diseño Pontificia Universidad Javeriana.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/46139/Documento%20tesis.docx.pdf?sequence=2>
- Bernarditamarambio, B., (2010). DEMODÉ: muebles de material textil. n.d.) Fase #3 (n.d.).
<https://www.bernarditamarambio.cl/Fase-3>
- Boletín técnico Encuesta Industrial Ambiental EAI, (2016), (n.d).
https://dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2016/bol_EAI_2016provisional.pdf.
- BULLON, J., GONZÁLEZ ARRIETA, A., HERNÁNDEZ ENCINAS, A., & QUEIRUGA DIOS, A. (2017). Manufacturing processes in the textile industry. Expert Systems for fabrics production. ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, 6(1), 41.
<https://doi.org/10.14201/adcaij2017614150>
- Castro, P., Viviana. (2018). Manejo de residuos sólidos del sector textil en Colombia basado en el modelo de economía circular, <https://core.ac.uk/download/pdf/286064629.pdf>
- Chumbi, KKarla, c. R., (2016). *Guia de procesos de fabricación de objetos textiles para generar fuentes de trabajo desde una conciencia social y medio ambiental*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6516>
- Clasificar textiles., Trade Helpdesk (s. f.)Clasificar textiles., Trade Helpdesk.
<https://trade.ec.europa.eu/tradehelp/es/clasificar-textiles>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social., (2018). Departamento Nacional de Planeación.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- DANE (2001), Textil confecciones y Generalidades de la Cadena productiva 18 (4), 211-214. recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/460.pdf>
- DANE. (2014) Cálculos Cámara de Comercio de Cali. Informes económicos #58.
<https://www.ccc.org.co/wp-content/uploads/2015/10/Enfoque-Competitivo-Textil-y-Confecciones.pdf>
- Do Amaral, M. C., Zonatti, W. F., Da Silva, K. L., Junior, D. K., Neto, J. A., & Baruque-Ramos, J. (2018). Industrial textile recycling and reuse in Brazil: Case study and considerations concerning the circular economy. *Gestao e Producao*, 25(3), 431–443. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3305>
- Ekström, K. M., & Salomonson, N. (2014). Reuse and Recycling of Clothing and Textiles-A Network Approach. *Journal of Macromarketing*, 34(3), 383–399.
<https://doi.org/10.1177/0276146714529658>

Espinel González, P. A., Aparicio Soto, D. M., & Mora, A. J. (2018). SECTOR TEXTIL COLOMBIANO Y SU INFLUENCIA EN LA ECONOMÍA DEL PAÍS. *Punto De Vista*, 9(13).
<https://doi.org/10.15765/pdv.v9i13.1118>

European Clothing Action Plan. (2019) Driving Circular fashion and textiles.
<https://wrap.org.uk/sites/default/files/2021-03/WRAP-ECAP-Summary-Report%202019-Driving-circular-fashion-and-textiles.pdf>

EUROPEAN COMMISSION. (2021). MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS TEXTILES, (n.d.).
https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&file=LIFE05_ENV_E_000285_LAYMAN_ES.pdf

Evelyn, B. S. (2018). *Remanentes textiles, alternativas de uso desde el diseño textil y Moda*. Cuenca, Ecuador: Universidad Azuay, Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8143>

Expertos y homólogos del control de calidad. (1980). Fibras poliestéricas (P.12). Ministerio de F. C., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2012). Explain Garment Manufacturing Process in 10 Easy Steps. (n.d.), <https://elysiavn.com/news/how-to-manufacture-clothing/>

Fontana, M., Rizzi, C., and Cugini, U.(2005). 3D virtual apparel design for industrial applications. *ComputerAided Design*, 37 (6):609-622.
https://www.researchgate.net/publication/223478332_3D_virtual_apparel_design_for_industrial_applications

FundeúRAE. (2015) *Glosario de la moda*. Wikilengua en español.
https://www.wikilengua.org/index.php/Glosario_de_moda.

Garment Production Process - Textile School. (s. f) <https://www.textileschool.com/193/garment-production-process/>

Guías Empresariales. (s.f.)
<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=83&giro=6&ins=896>

Hyman, M. (2013). Guía para la elaboración de estrategias nacionales de gestión de residuos. Avanzar desde los desafíos hacia las oportunidades. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Kasemset C, Kachitvichyanukul V. (2010). "Bi-level multi-objective mathematical model for job-shop scheduling: the application of Theory of Constraints". *International Journal of Production Research* Vol. 48, No. 20, p. 6137–6154.

Koopera. (2017). Convierte residuos textiles en paneles aislantes para la construcción. Residuos textiles en paneles aislantes para la construcción. <https://www.residuosprofesional.com/residuos-textiles-paneles-aislantes/>

Lau et al., (n.d.) Lau, G.-J., Guang, L., Tambunan, A., Caton, P., Estily, R., & Feiyue, L., PULSE OF THE FASHION INDUSTRY. www.copenhagenfashionsummit.com/global-fashion-agenda.

Le Maistre, C. (1946). ISO 527-1 & ISO 527-2: *Ensayo de tracción en plásticos*.
<https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/ensayo-de-traccion-iso-527-1->

Pasos indispensables para el proceso de confección. (n.d.), <http://lafayettesports.com.co/noticias/confeccion-deportiva/como-lograr-colecciones-deportivas-a-traves-de-un-proceso-de-confeccion-efectivo/5/>

Paula Andrea Espinel González Diana Marcela Aparicio Soto Angela Julieta Mora. Sector Textil Colombiano Su Influencia En Economía en el país. Decreto 1351 del 22 de agosto de 2016.doc. Ministerio de comercio.

PET – Densidad – Resistencia – Punto de fusión – Conductividad térmica., (2022). <https://material-properties.org/es/pet>

Planeación, (2018) Planeación, 209-226. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DesarrolloEmpresarial/Textiles.pdf>

Procolombia, E. (2011). Exportando productos al Canadá. <https://procolombia.co/archivo/productos-colombianos-se-destacan-en-sial-canada-2011>

Profesional, R. (11 de julio de 2017). One response to "Koopera convierte residuos textiles en paneles aislantes para la construcción". Obtenido de Residuos. <https://www.residuosprofesional.com/residuos-textiles-paneles-aislantes/>

Proyecto RESITEX " Alternativas para la reducción del volúmen de residuos en el sector textil mediante medidas de minimización en el proceso de producción y en el consumo". LIFE05 ENV/E/000285

Quinayá, D., (2017). El ABC del proceso de producción para prendas de vestir. <https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-3.pdf>

Redress Design Award. (s. f.). <https://www.redressdesignaward.com/>

Resolución 1291.Rellenos sanitarios. Art 1(5).

SOURCING TEXTILE WASTE THE ECOCHIC DESIGN AWARD ORGANISED (2014) <https://ecochicdesignaward.com>

Space Hippie footwear made from recycled factory waste, (n.d.)Nike releases Space Hippie footwear made from recycled factory waste.(n.d.).<https://www.dezeen.com/2020/02/07/nike-space-hippie-recycled-trainer/>

Starmanns, M. and Petrie, I., (2017). The Clothing and Textile Industry At The Brink Of Radical Transformation, WWF Switzerland.

Studio, F., (2020). Variedad de estilos que maneja la marca. <https://www.studiof.com.co/colecciones>

Tesis de Grado (García Acosta, V.M, (2018)., Sistema de reciclaje de textiles post-consumo para el desarrollo de productos de economía circular 10(1), 105-106. Bogotá D.C, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13550/1/Garc%C3%ADAcostaM%C3%B3nicaViviana2018.pdf>

The Basics of Textile Recycling,(n.d.)The Basics of Textile Recycling. <https://thebalancesmb.com/the-basics-of-recycling-clothing-and-other-textiles-2877780>

Thorlakson, T., Zegher, F.J., Lambin, E. (2018). Companies' contribution to sustainability through global supply chains. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716695115>

Trabajo y seguridad social Servicio Nacional de aprendizaje

SENA. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5773/unidad_control_calidad_fibras_poliestericas.pdf?sequence=1

Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013). Producto 2.1. Diagnóstico Integral del Modelo Actual de la Gestión de Residuos en Colombia. Tomo C: Diagnostico Técnico. Contrato Interadministrativo No. 149 de 2013, p. 213.

Vehmas (2018)Vehmas, K., Raudaskoski, A., Heikkilä, P., Harlin, A., & Mensonen, A. (2018). Consumer attitudes and communication in circular fashion. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 22(3), 286–300. recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JFMM-08-2017-0079>

Velayudhan, T. . M., & Yameni, M. . (2012). Quality of Work Life – A Study. *IOP Conference Series.*:

Zamcopé, F. C., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2012). Construction of a model for corporate sustainability assessment: a case study in the textile industry. *Gestão & Produção*, 19(2), 303–321. https://www.researchgate.net/publication/262619494_Construction_of_a_model_for_corporate_sustainability_assessment_A_case_study_in_the_textile_industry

13. Anexos

13.1. Solicitud de trabajo de campo a SF group



Santiago de Cali, 08 de Septiembre de 2020

Señora
ALEJANDRA GIRALDO GIL
 Gerente de Compensación y Beneficios
 Gestión Humana
 Studio F

ASUNTO: Proyecto de Grado "Intervención en el aprovechamiento Ecoeficiente de los remanentes textiles resultantes de los procesos post - producción en serie de prendas de vestir".

Me permito solicitar autorización para la señorita MARÍA ISABEL MORENO REYES, identificada con el código 201623586 y cédula ciudadanía 1.144.105.868 de Cali, del Programa de Diseño Industrial en la Universidad del Valle, para que pueda llevar a cabo las actividades abajo relacionadas dentro de las instalaciones y facilitar la información para el trabajo de campo correspondiente a su proyecto de grado.

En dicho proyecto se tiene como finalidad trabajo es evidenciar los procesos de producción de prendas de vestir a nivel industrializado.

Para obtener información real requiere de su colaboración en algunos aspectos como:

- 1) Realizar visita a las instalaciones de producción y hacer un reconocimiento de los remanentes textiles resultado de la producción.
- 2) Entrevista con los ingenieros o técnicos encargados.

Agradecemos a usted su gentil colaboración al respecto.

Atentamente,


MIGUEL ALEJANDRO BOHORQUEZ NATES
 Director de programas de Diseño

Angélica María V.

Edificio D5 – Oficina 4004 – Ciudad Universitaria de Meléndez
 Telefax [57-2] 321 23 75 – Apartado Aéreo 25360
 Santiago de Cali – Colombia
programas.diseño@correounivalle.edu.co
<http://diseño.univalle.edu.co/>

13.2. Diploma de curso de Alturas Studio F. Group



13.3. Reporte de salida del material de Studio F. Group

[illegible]

13.4. Certificado del Comité de Ideas Tecnoparque SENA



Señor(a)

María Isabel Moreno Reyes

Cordial Saludo

Luego de analizar la información presentada en el Comité de Selección de Ideas de Base Tecnológica realizado en el mes de junio de 2022, La Red Tecnoparque Colombia del SENA le da la Bienvenida a su nodo **Calí**. Desde ahora usted hace parte del grupo de emprendedores innovadores de nuestra Red y recibirán de parte nuestra la Asesoría Técnica especializada y los servicios tecnológicos para el desarrollo de su idea: **“APROVECHAMIENTO DE REMANENTES TEXTILES RESULTANTES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE DE PRENDAS DE VESTIR A NIVEL INDUSTRIAL DE EMPRESAS TIPO PYMES DEL SUR DEL VALLE DEL CAUCA”** En los próximos días, el experto Jherson Eveiro Díaz Rosero se pondrá en contacto con usted para generar una agenda de trabajo inicial.

Recuerde que además de la Asesoría Técnica para el Desarrollo de Proyectos de Base Tecnológica, la Red Tecnoparque Colombia pone a su disposición los siguientes servicios:

- Apropiación y generación social del conocimiento.
- Servicios tecnológicos
- Fortalecimiento para la actividad empresarial a través de la Unidad de emprendimiento.
- Adaptación y transferencia tecnológica.

Gracias por su participación e interés.

Red Tecnoparque SENA

<http://tecnoparque.sena.edu.co>

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación