

DISEÑO DE UN PROCESO PARA PRODUCIR UN SUSTITUTO DEL CUERO BOVINO
A BASE DE FIBRAS NATURALES DERIVADAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

MARÍA CAMILA QUECAN VEGA

ANDRÉS FABIÁN SIERRA GONZÁLEZ

Proyecto final de grado para optar por el título de

INGENIERO QUÍMICO

Director

DANY JOSÉ CARDENAS ROMAY

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del director

Nombre

Firma del presidente del jurado

Nombre

Firma del jurado

Nombre

Firma del jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

Queremos dedicar este trabajo de grado a nuestros familiares, principalmente a nuestros padres, abuelos y tíos quienes fueron un apoyo emocional para lograr culminar todo de la manera más pertinente posible. A nuestros amigos que nos brindaron momentos agradables en tiempos difíciles y quienes siempre nos dieron palabras de aliento para seguir adelante. Finalmente, a todos nuestros maestros que nos acompañaron durante toda la carrera brindándonos su conocimiento y experiencia enriquecedora.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecerles infinitamente a nuestros padres, ustedes han sido siempre el motor que impulsa nuestros logros, quienes estuvieron siempre presentes en cada etapa del proceso y nos dieron su apoyo incondicional. También le agradecemos a nuestro director Dany, sin usted y sus conocimientos, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiésemos logrado tan fácil. nuestros amigos Sofía P., Camila C. y Karent U. por siempre brindarnos su apoyo incondicional y sobretodo sacarnos de los momentos de estrés, por último, le queremos agradecer al señor Hernando Acuña de la empresa Sortercueros S.A. en Bogotá, por recibirnos en su empresa y compartir todo su conocimiento y experiencia con nosotros.

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

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
PROBLEMA	18
JUSTIFICACIÓN	20
OBJETIVOS	21
1. GENERALIDADES	22
1.1 Cuero	22
1.2 Cuero sintético	25
1.2.1 <i>A partir del policloruro de polivinilo (PVC)</i>	25
1.2.2 <i>A partir del poliuretano</i>	26
1.3 Materiales Compuestos	26
1.3.1 <i>Matriz</i>	29
1.3.2 <i>Refuerzo</i>	30
1.3.3 <i>Interfase</i>	31
1.3.4 <i>Fabricación</i>	32
1.4 Resinas	32
1.4.1 <i>Poliéster</i>	32
1.4.2 <i>Polipropileno</i>	33
1.4.3 <i>Clasificación de las resinas</i>	33
1.4.4 <i>Métodos para la aplicación de resinas</i>	34
1.5 Fibra	35
1.5.1 <i>Fibras naturales</i>	36
1.5.2 <i>Fibras hechas por el hombre</i>	36

1.6	Caña de azúcar	36
1.6.1	<i>Bagazo de caña de azúcar</i>	38
1.6.2	<i>Fibra de caña de azúcar</i>	38
2.	PROPIEDADES DEL CUERO	39
2.1	Composición de la piel	39
2.2	Propiedades químicas	40
2.2.1	<i>Humedad</i>	40
2.2.2	<i>Contenido de grasas</i>	41
2.2.3	<i>Contenido de óxidos de cromo</i>	41
2.2.4	<i>Contenido de cenizas sulfatadas</i>	42
2.2.5	<i>Potencial de hidrogeno (pH)</i>	42
2.3	Propiedades físicas	43
2.3.1	<i>Espesor</i>	43
2.3.2	<i>Área superficial</i>	44
2.3.3	<i>Densidad</i>	45
2.4	Propiedades mecánicas	45
2.4.1	<i>Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación</i>	47
2.4.2	<i>Resistencia al desgarro</i>	49
2.4.3	<i>Resistencia a la abrasión</i>	50
2.4.4	<i>Resistencia a la flexión</i>	51
3.	PROPIEDADES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	54
3.1	Composición física del bagazo de caña de azúcar	56
3.1.1	<i>Sólidos particulados</i>	56
3.1.2	<i>Sólidos no solubles</i>	59
3.1.3	<i>Sólidos solubles</i>	59

3.2	Propiedades físicas	59
3.2.1	<i>Densidad</i>	59
3.2.2	<i>Densidad real</i>	60
3.2.3	<i>Densidad aparente</i>	61
3.2.4	<i>Porosidad</i>	61
3.2.5	<i>Esfericidad</i>	61
3.3	Morfología del bagazo de caña de azúcar y de las fibras obtenidas a partir de este	62
3.4	Propiedades químicas	65
3.4.1	<i>Celulosa</i>	65
3.4.2	<i>Hemicelulosa</i>	65
3.4.3	<i>Lignina</i>	66
3.4.4	<i>Humedad</i>	66
3.4.5	<i>Contenido de volátiles</i>	66
3.4.6	<i>Carbono fijo y cenizas</i>	66
3.5	Propiedades mecánicas	67
3.5.1	<i>Coefficiente de rigidez</i>	67
3.5.2	<i>Coefficiente de flexibilidad</i>	67
3.5.3	<i>Relación de Runkel</i>	67
4.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL SUSTITUTO	69
4.1	Secado	69
4.2	Desmédulado	70
4.2.1	<i>Desmédulado en seco</i>	71
4.2.2	<i>Desmédulado en húmedo</i>	71
4.2.3	<i>Desmédulado en suspensión o mojado</i>	71
4.3	Pulpado	72

4.3.1	<i>Pulpado mecánico</i>	72
4.3.2	<i>Pulpado químico</i>	72
4.3.3	<i>Elección del método</i>	73
4.4	No tejido	76
4.4.1	<i>Vía seca</i>	76
4.4.2	<i>Vía húmeda</i>	77
4.4.3	<i>Elección de método</i>	77
4.5	Fijación del no tejido	80
4.5.1	<i>Método químico</i>	80
4.5.2	<i>Método térmico</i>	80
4.5.3	<i>Método mecánico</i>	80
4.6	Obtención del sustituto	83
4.6.1	<i>Métodos para la aplicación de la resina</i>	85
4.7	Diagramas del proceso	87
4.8	Balance de masa	89
4.8.1	<i>Cuadro de selección de equipos</i>	101
5.	ANALISIS DE RESULTADOS	114
6.	CONCLUSIONES	121
	BIBLIOGRAFIA	123
	ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de cuero según especie mamífera y sus especificaciones.	23
Figura 2. Diagrama de proceso de curtido y acabado de cuero.	25
Figura 3. Estructura de un material compuesto.	28
Figura 4. Anatomía de un material compuesto.	29
Figura 5. Tipos de refuerzo en los materiales compuestos.	31
Figura 6. Distribución porcentual de los componentes de la piel.	40
Figura 7. Calibrador análogo para cuero.	44
Figura 8. Maquina medidora de cueros marca master.	45
Figura 9. Localización de muestreo peles para ensayos físicos o químicos.	46
Figura 10. Resistencia a la tracción con respecto a la influencia de la zona de la piel.	48
Figura 11. Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación con respecto a la dirección de la probeta.	48
Figura 12. Resistencia al desgarro con respecto a la influencia de la zona de la piel.	50
Figura 13. Resistencia al desgarro con respecto a la dirección de la probeta.	50
Figura 14. Flexómetro.	52
Figura 15. Bagazo de caña de azúcar.	54
Figura 16. Célula parenquimatosa irregular.	57
Figura 17. Célula parenquimatosa esférica.	58
Figura 18. Célula parenquimatosa rectangular.	58
Figura 19. Volumen aparente vs volumen real de un producto.	60
Figura 20. Propiedades biométricas de las fibras.	64
Figura 21. Diagrama de bloques	88
Figura 22. Diagrama de flujo de proceso	89
Figura 23. Operación unitaria, tamizado.	90
Figura 24. Operación unitaria, lavado	91
Figura 25. Operación unitaria, secado.	92
Figura 26. Operación unitaria, desmédulado.	94
Figura 27. Operación unitaria, pulpado.	95

Figura 28. Operación unitaria, lavado No. 2.	95
Figura 29. Operación unitaria, secado No. 2.	97
Figura 30. Operación unitaria, cardado.	98
Figura 31. Operación unitaria, punzonado.	99
Figura 32. Operación unitaria, termofijado.	99
Figura 33. Operación unitaria, calandrado.	100
Figura 34. Operación unitaria, corte.	101
Figura 35. Especificación de equipos para cada unidad de proceso.	102
Figura 36. Análisis bibliométrico para no tejidos a partir de fibras naturales.	115
Figura 37. Producción mundial de bagazo de caña de azúcar y otras fuentes de fibras naturales.	118
Figura 38. Composición de diversas fibras naturales.	119
Figura 39. Trapiche ubicado en la via Viotá Cundinamarca	156
Figura 40. Desmedulado de bagazo de caña de azúcar y secado de la corteza del bagazo	157
Figura 41. Pulpado de la corteza del bagazo de caña de azúcar	158
Figura 42. Proceso de formación del velo de fibras y termofijación, acabado del sutituto	159

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química del cuero.	39
Tabla 2. Propiedades generales del cuero según norma y especificación	53
Tabla 3. Composición del bagazo de caña de azúcar.	55
Tabla 4. Componentes del bagazo de caña de azúcar.	56
Tabla 5. Composición de los sólidos particulados presentes en el bagazo de caña de azúcar.	59
Tabla 6. Cálculo de la esfericidad a diferentes diámetros de partícula.	62
Tabla 7. Propiedades morfológicas de las fibras del bagazo de caña de azúcar obtenidas por diversas fuentes bibliográficas.	63
Tabla 8 Composición morfológica del bagazo limpio.	65
Tabla 9. Matriz de selección para el tipo de pulpado a realizar en el proceso.	74
Tabla 10. Matriz de selección para el tipo de método para la formación del velo a realizar en el proceso.	78
Tabla 11. Condiciones de operación	107
Tabla 12. Flujo másico y fracciones másicas adicionales ya establecidas para realizar el balance de masa para las corrientes 5,7 y 8.	132
Tabla 13. Flujo másico y fracciones másicas adicionales ya establecidas para realizar el balance de masa para las corrientes 14,16 y 17.	136
Tabla 14. Calor específico a presión constante para cada materia prima requerida en el proceso	139

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Balance de masa global para la unidad de tamizado	90
Ecuación 2. Balance de masa global para la unidad de lavado No. 1	92
Ecuación 3. Balance de masa por componente (bagazo), lavado No. 1.	92
Ecuación 4. Balance de masa por componente (agua), lavado No. 1	92
Ecuación 5. Balance de masa global para la unidad de secado No. 1	93
Ecuación 6. Balance de masa por componente (bagazo), secado No. 1	93
Ecuación 7. Balance de masa por componente (agua), secado No. 1	93
Ecuación 8. Balance de masa por componente (aire), secado No. 1	93
Ecuación 9. Balance de masa global para la unidad de demédulado	94
Ecuación 10. Balance de masa global para la unidad de pulpado	95
Ecuación 11. Balance de masa global para la unidad de lavado No.2	96
Ecuación 12. Balance de masa por componente (fibras), lavado No.2	96
Ecuación 13. Balance de masa por componente (agua), lavado No.2	96
Ecuación 14. Balance de masa global para la unidad de secado No. 2	97
Ecuación 15. Balance de masa por componente (bagazo), secado No. 2	97
Ecuación 16. Balance de masa por componente (agua), secado No. 2	97
Ecuación 17. Balance de masa por componente (aire), secado No. 2	98
Ecuación 18. Balance de masa global para la unidad de cardado	98
Ecuación 19. Balance de masa global para la unidad de punzonado	99
Ecuación 20. Balance de masa global para la unidad de termofijado	100
Ecuación 21. Balance de masa global para la unidad de calandrado	100
Ecuación 22. Balance de masa global para la unidad de corte	101

RESUMEN

Los sustitutos del cuero han ganado gran relevancia a través del tiempo, ejemplo de esto se tiene la cuerina o cuero sintético y la tela, que podrían ser de los más representativos entre los sustitutos, debido a que se usan en una gran cantidad de aplicaciones en las que se utiliza el cuero; recientemente se ha investigado sobre otro sustituto, el cual consiste en la realización de una cuerina o cuero vegano a partir de fibras obtenidas de fuentes vegetales (como el bambú, fique, algunas frutas, etc.), al cual se le denomina cuero vegetal, este se fabrica a partir de una mezcla de resinas, colorantes y/o aglutinantes que se depositan sobre las fibras naturales obteniendo así el sustituto deseado, este proceso se ha llevado a cabo y comercializado por empresas como Piñatex que lo realiza a partir de fibras de piña, Fiquetex que lo realiza a partir de fibras de fique, o Desserto que lo realiza a través de fibras de nopal, entre otras empresas.

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad el diseño teórico de un proceso de producción de un sustituto del cuero a base de fibras naturales derivadas de la caña de azúcar. El cual consistió en la caracterización teórica del cuero, con el fin de conocer las propiedades idóneas que debe tener el sustituto propuesto a partir de fibras de caña de azúcar, también se realizó una caracterización teórica de la caña de azúcar, para conocer las propiedades que tienen las fibras antes del proceso, por último se hizo un procedimiento teórico en donde se describió cada proceso realizado para obtener el sustituto, lo que permitió saber el pre-tratamiento de las fibras para que estas sean aptas para el proceso, los equipos utilizados, las condiciones de operación de cada equipo (temperatura, tiempo, entre otras), las proporciones de mezcla de resinas y colorantes, para una planta piloto.

En una primera fase, se realizó la caracterización teórica de las propiedades del cuero bovino, la metodología empleada consistió en llevar a cabo una investigación de carácter cuantitativo no experimental de tipo transversal y subtipo descriptivo para las caracterizaciones teóricas, la cual permitió conocer el material investigado y simplificar su descripción en cuanto a sus propiedades más relevantes como la composición química, pH, espesor, resistencia a la tracción, resistencia a la abrasión, entre otros. Esta se realizó basándose en la búsqueda de información en las bases de datos que brinda la universidad como Scopus, Ebsco Host, ScienceDirect, Knovel, Springerlink, entre otras, y también en bases de datos externas gratuitas como Scielo, La Referencia, FAO, etc.

En una segunda fase se realiza la caracterización teórica del bagazo de caña de azúcar, la metodología empleada para llevar a cabo esta fase fue similar a la de la caracterización teórica del cuero bovino, donde fue posible conocer características relevantes como la humedad, composición química del bagazo, composición morfológica del bagazo, entre otras.

A partir de la información obtenida, se procedió al diseño y descripción conceptual del proceso, las etapas fueron definidas como recepción y limpieza del bagazo, desmedulado del bagazo, pulpado de la corteza del bagazo, cardado de las fibras, punzonado, y termofijado (proceso que tiene en cuenta la aplicación y fijación del aglutinante al no tejido), este proceso fue planteado a nivel teórico.

En la última fase se planteó un procedimiento teórico para obtener un sustituto del cuero bovino partiendo de la fibra derivada de la caña de azúcar a nivel planta piloto. La descripción del mismo se realizó tomando como base el escalamiento de equipos, balances de masa para el procesamiento de una tonelada de corteza de bagazo de caña por día. Finalmente el proceso fue contrastado con referentes tomados de la literatura.

Palabras Clave: Sustituto del cuero, no tejido, fibras naturales, resinas, caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años nos hemos dado cuenta de que no todos los procesos que hoy en día conocemos son la mejor solución que podemos encontrar a diversas situaciones que se nos presentan; nuevas perspectivas, nuevos procesos, nuevas materias primas, nuevas invenciones, nuevos quipos aparecen para sustituir aquellos procesos convencionales por revolucionarios productos que ofrezcan la misma calidad o incluso mucho más, con el fin de suplir con una necesidad en específica.

En la industria de las curtiembres, el proceso consta de hacerle una limpieza exterior e interior, un tratamiento, una purificación a la piel animal para transformarla en lo que conocemos como cuero. Muchas de estas prácticas no son bien recibidas puesto que se utilizan agentes químicos que pueden atentar contra el medio ambiente y llegar a afectar a la población que se encuentra alrededor de las curtiembres. En muchos de los casos las aguas residuales provenientes de los diferentes procesos productivos no son debidamente tratadas antes de ser desechadas, por lo que estas aguas contaminadas principalmente por agentes químicos tóxicos son arrojadas a vertientes de agua aledañas afectando principalmente al ecosistema. En otros casos podríamos llegar a mencionar el trato animal que quizás no sea el más adecuado, pero de igual forma hay que tenerlo presente.

Al tener en cuenta varias de estas problemáticas mencionadas anteriormente, el presente proyecto investigativo logró realizar un proceso descriptivo, de lo que sería un sustituto del cuero fabricado a partir de fibras naturales derivadas del bagazo de la caña de azúcar. Dentro del proceso para elaborar el sustituto del cuero, se usan agentes químicos menos tóxicos y peligrosos en comparación a los usados en el proceso de curtiembre, los cuales si llegan a afectar de manera directa o indirecta a las personas y a los alrededores. Es un proceso más limpio en el que se utiliza una materia prima que es abundante en Colombia y a su vez, otorga propiedades físicas, mecánicas y químicas que favorecen a la obtención de las fibras para su debido procesamiento como sustituto del cuero que puede llegar a igualar a las características del cuero animal o incluso superarlas.

Asimismo, el proyecto investigativo realizó una propuesta de un diseño de proceso, en el cual se pueda llevar a cabo la elaboración de dicho sustituto. La elección de equipos, materiales, métodos, entre otros, se realizó a partir de diversas fuentes bibliográficas que permitieron determinar aquellos factores más relevantes a tener en cuenta con el fin de llegar a obtener el producto propuesto.

PROBLEMA

El proceso de obtención del cuero animal consiste en retirar el pelo de la piel, secarla y curtila, en este se trata químicamente la piel para detener su putrefacción y agregarle características especiales, por último, se le da una terminación y acabado deseado. Cada etapa de este proceso hace que el costo de la piel sea más elevado con respecto a otros materiales y más aún si requiere químicos adicionales para lograr un tipo específico de acabado, resistencia, color o textura en una etapa posterior al curtido. La industria de las curtiembres en Colombia ha tenido un gran impacto a nivel social y económico por más de un siglo a causa de la generación de empleo y al aumento en la economía colombiana por su gran demanda. Cerca del 81% de las curtiembres a nivel nacional se encuentran ubicadas en Bogotá y Cundinamarca, el 10% lo tiene Nariño y el restante se encuentra distribuido entre Quindío, Valle del Cauca, Antioquia, Atlántico, Bolívar y Risaralda, según datos de la CAR [1].

Actualmente dentro del procedimiento ocurren eventos que afectan negativamente la calidad de vida los trabajadores y al medio que lo rodea, como la contaminación del aire al manejar productos químicos de gran impacto, adicionalmente, «el proceso se caracteriza por su excesivo consumo de agua que alcanza a llegar a un valor de 100 metros cúbicos por tonelada de piel bruta procesada, por otra parte, se emplean 442 kg de productos químicos por cada tonelada de piel procesada. Además durante todo el proceso se generan 696 kg de residuos por tonelada, de las cuales el 21% contiene cromo impregnado en recortes de piel, polvo de lijado y virutas, el 7% es sal usada para la conservación de las pieles y el 72% corresponde a residuos libre de cromo. Así mismo, la etapa de curtido genera la mayor contaminación, aportando casi un 90% en el efluente final, constituido por altas concentraciones de materia orgánica, cromo, sulfuro, grasas, aceites y sólidos, que en la mayoría de los casos son vertidos al alcantarillado sin un tratamiento adecuado» [2].

Cuando no se tienen en cuenta todas aquellas afectaciones ni tampoco la normativa para mitigarlas, el daño al entorno aumenta ya sea por el lado de la cadena del sacrificio animal, por el almacenamiento de pieles no tratadas en las curtiembres que afecta el ambiente de quienes rodean la zona o incluso por los químicos que se pueden llegar a utilizar en el proceso de curtido son daños que se podrían mitigar al bajar la cantidad de cuero animal producido. Hoy en día se conoce que existen alternativas para el aprovechamiento de los residuos sólidos que deja el proceso, pero no justifica la problemática ambiental que otros aspectos genera.

Existen alternativas para que los impactos ambientales causados durante el proceso de obtención de cuero animal disminuyan, una de ellas consiste en cambiar las sustancias que se utilizan durante el proceso, como por ejemplo utilizar un depilado enzimático en lugar de hacerlo con sulfuros, también se puede dejar que la piel se seque naturalmente en lugar de utilizar cloruro de amonio [3], o sustituir el uso del cromo por licor curtiembre que es una sustancia hecha a base de cortezas, ramas y hojas de árboles como el pino, eucalipto o roble durante el curtido [4], pero hay que tener en cuenta que cada una de ellas implica sobrecostos durante el proceso; en cuanto al uso del agua puede hacerse un uso racional de está disminuyendo el tiempo de lavado durante todo el proceso e implementar un sistema de tratamiento de agua antes del vertido.

Una alternativa ya conocida es la utilización de cuero vegano llamado comúnmente como piel falsa o sintética, su uso es amplio ya que también resulta ser más económico; este tipo de material no posee transpirabilidad lo que hace que resulte en algunas ocasiones incómodo. En términos generales su fabricación consiste en colocar capas de una mezcla de termoplastificantes a base de petróleo y polvo de vinilo sobre una tejido interlock de poliéster [5], pero este proceso está en constantes cambios de mejora. Por su procedencia, es un material que no es biodegradable y que depende de derivados del petróleo, sin embargo los residuos que deja este material pueden ser reincorporados para realizar uno nuevo, siempre y cuando sean separados de otros residuos y se traten de manera adecuada.

En la actualidad no hay una gran cantidad de sustitutos que sean tan efectivos como el cuero animal, sin embargo, casos como el de Piñatex [6] o Rotterdam Fruitleather [7], que son reconocidos gracias a la innovación y creación de cueros vegetales a partir de fibras naturales de las hojas de piña para el primer caso y residuos sólidos de fruta para el segundo caso.

Cabe destacar que hay ocasiones en donde el cambio de material para fabricar un producto no resulta ser la mejor solución y puede que el mismo no genere las mismas ganancias y satisfacción que cuando es fabricado en cuero, así que resulta de gran interés tener un material que logre obtener características similares a la piel animal, que pueda implementarse en una amplia gama de productos.

JUSTIFICACIÓN

El aumento en la demanda de cuero a nivel nacional causa cada vez más problemas ambientales, sociales y técnicos relacionados con el proceso de fabricación y obtención de diversos productos donde se utiliza este material.

La utilización de agentes químicos tóxicos y peligrosos para la fabricación del cuero animal, sin mencionar una considerable cantidad de agua requerida durante todo el proceso, traen consigo problemáticas en las zonas aledañas a las curtiembres y a aquellas personas que se encuentran ubicadas a las riberas de los ríos que son afectados por los vertidos que realiza esta industria. Se hace necesaria la investigación acerca de un sustituto del cuero capaz de asimilar las características de la piel animal, ya que su fabricación trae aspectos técnicos a favor como lo son el bajo uso de agentes químicos y los empleados pueden ser reciclados, la cantidad de agua requerida es menor y los residuos generados no serán vertidos a fuentes hídricas.

Los procesos para la obtención de sustitutos del cuero han demostrado que es posible obtener un producto que se acerque a lo que es el cuero animal, resaltando que los procesos técnicos que se emplean son procesos viables y competitivos al ser accesible su aplicación a la industria nacional, como lo es la producción del cuero animal en el país. Incluso si el proceso se lleva a cabo a nivel industrial existe posibilidad de generar empleo, darle un valor agregado a un residuo agroindustrial como lo es el bagazo de caña de azúcar donde se obtienen las fibras que se utilizaran para la elaboración del sustituto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un proceso de producción de un sustituto del cuero bovino a base de fibras naturales derivadas de la caña de azúcar.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del cuero bovino obtenido por las curtiembres.
- Caracterizar el bagazo de caña de azúcar y las fibras derivadas de este para la fabricación del cuero vegetal.
- Plantear un procedimiento para obtener el sustituto del cuero partiendo de la fibra derivada de la caña de azúcar a nivel planta piloto.

1. GENERALIDADES

Para entender y contextualizar los temas que se trataran en este documento, se presenta una breve descripción acerca de aspectos como el cuero, cuero sintético, materiales compuestos, fibras, resinas y caña de azúcar, lo cuales son temas bases para entender técnicamente la obtención de un sustituto del cuero a partir de fibras de caña de azúcar.

1.1 Cuero

Es uno de los materiales más versátiles que se conocen, debido a la disposición única de las fibras naturales complejas que se dan en las pieles y cueros. El término “*cuero*” se utiliza para denotar animales grandes, mientras que el término “*piel*” hace referencia a animales pequeños [8], pero según el autor también puede decirse que antes del proceso de curtido se le denomina piel y después de este se le denomina cuero. El cuero es la estructura externa de los cuerpos de los animales, generalmente está cubierta de pelo que le brinda protección, pero también cumple con otras funciones, como los son: regular de temperatura, almacenar grasa, albergar órganos sensoriales, entre otros [9].

Generalmente el cuero se obtiene de animales mamíferos como bovinos, caprinos, ovinos, equinos y porcinos, como se pueden observar en la figura 1, también se obtiene de otras especies como aves, reptiles, peces, batracios y algunas especies exóticas, pero tienden a ser de menor comercialización [10], cada una de estas proporcionara cueros con diferentes calidades, propiedades y precios.

Figura 1.

Tipos de cuero según especie mamífera y sus especificaciones

Especie	Especificación
Bovinos	Cueros obtenidos a partir nonatos, becerros, terneras, novillos, toros y vacas, caracterizados específicamente por su resistencia.
Caprinos	El cuero se caracteriza por su finura y su resistencia. Se obtienen de las cabras, cabritos o tafiletes.
Ovinos	Generalmente conocidos como borregos, se pueden utilizar en partes interiores del corte (forros), pero también en marroquinería debido a que es un cuero que no tiene cuerpo.
Equinos	El cuero puede tener diversas texturas, su parte delantera es bastante fina y se puede asimilar al cuero caprino, la parte trasera se caracteriza porque es bastante gruesa y compacta.
Porcinos	Es un cuero que presenta bastante porosidad debido a que los pelos presentes en la piel animal penetran con profundidad, además de ser bastante grasosos.

Nota. Cuadro de descripción de los cueros según la especie de mamífero de donde se obtiene, Tomado de: C. Villamil. (s.f.) “El Cuero y sus Características”, Centro de Manufactura en Textiles y Cuero del SENA.

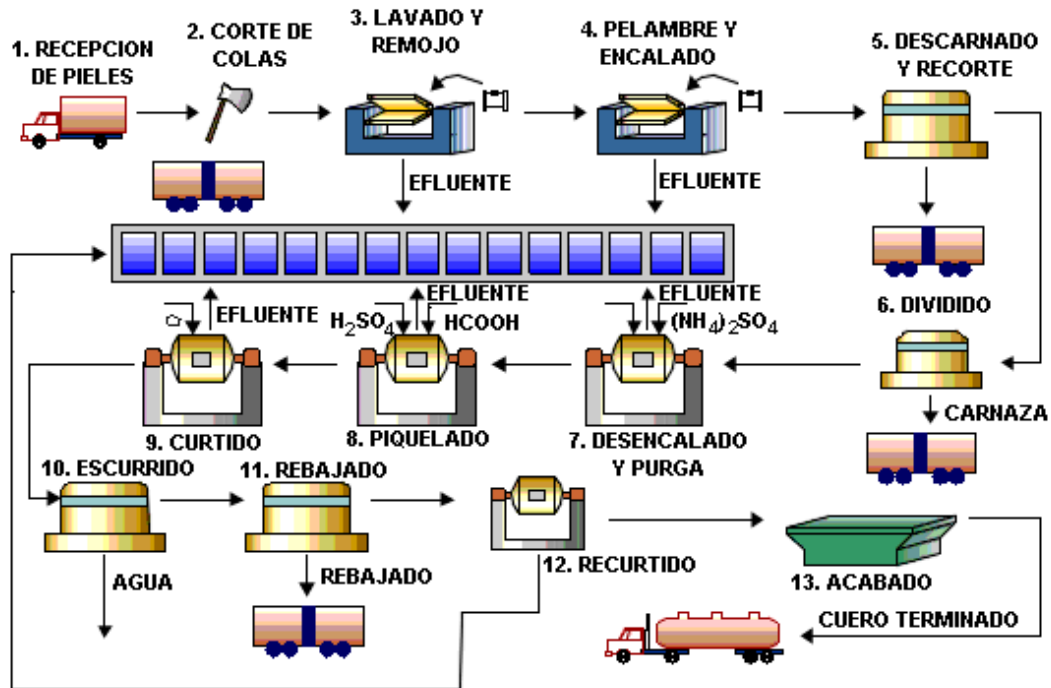
A la piel se le realiza el proceso de curtido, en donde se trata para generar un material duradero que no se pudra y también le otorga mejoras en sus propiedades, en las cuales se destacan la plasticidad, permeabilidad, resistencia, alargamiento y facilidad para trabajarse [10], este proceso empieza con la fase de secado, donde la piel se conserva; la fase de ribera, donde se realizan remojos para limpiar y devolverle hidratación y suavidad a la piel; la fase de pelambre, donde se hace la remoción de pelo; la fase de desengrase, donde se elimina la grasa natural de la piel; la fase de curtición, la cual se divide en el piquelado que ajusta el pH y el baño de licor curtiembre, en donde se usa generalmente óxido de cromo que detiene la putrefacción y le otorga mejores propiedades químicas, mecánicas y organolépticas a la piel [9].

Las etapas siguientes después del curtido, son de vital importancia ya que en ellas se le da gracia al cuero, la primer etapa post-curtición es la recurtición, en donde se pueden utilizar varios productos como sales, extractos vegetales, resinas, etc., que le proporciona a la piel mejores capacidades de grabado, esmerilado, afelpado, entre otras; la siguiente etapa es la tintura, que es generalmente aplicada junto con los engrasantes, puede agregarse solo el color o puede estar acompañado de otros productos que le den diferentes terminados (brillo, mate, degradado, etc.); la última fase es el engrase, lo que hace que la piel se torne blanda y agradable a través de la aplicación de un lubricante [9].

Lo anterior es una descripción general del proceso para la obtención del cuero, pero existen fases intermedias adicionales, o fases que no se hacen para todo tipo de piel, en la figura 2, se puede detallar de manera dinámica este proceso.

Figura 2.

Diagrama de proceso de curtido y acabado de cuero



Nota. La figura muestra los distintos procesos de curtiembre en los que debe pasar la piel para poder obtener las propiedades idóneas para ser comercializada y usada. Tomado de: SBA Curtidos. (feb. 27, 2018), “El Proceso de Curtición y sus Etapas” [En línea]. Disponible en: <https://www.curtidossba.es/blog/el-proceso-de-curticion-y-sus-etapas> [Acceso: sep. 2, 2021].

1.2 Cuero sintético

El término cuero sintético hace referencia a la obtención de un material compuesto a base principalmente de polímeros y resina, luce de manera similar al cuero obtenido a partir de la piel animal, sin embargo, el proceso productivo del llamado cuero sintético trae consigo beneficios económicos, gracias a las materias primas con las que se pueden fabricar. Existen dos principales métodos de obtención para los cueros sintéticos.

1.2.1 A partir del policloruro de polivinilo (PVC)

Este método utiliza el PVC el cual es un polímero bastante usado a nivel mundial en diferentes campos industriales, técnicos y cotidianos. Es un material termoplástico bajo en carbono y dentro

de su composición contiene 57% de cloro derivado de sal común, 5% de hidrógeno y 38% de carbono [11].

El proceso de fabricación consta de una mezcla de plastificante que se obtiene a partir de derivados del petróleo y una mezcla de vinilo en polvo con agua, las mezclas se combinan y se vierten con ayuda de unos rodillos en un papel siliconado de forma uniforme. La primera capa de las mezclas vertida en el papel siliconado tiene que ser una capa fina y gracias al horno de rodillos el vinilo líquido se endurece sobre el mismo; se añade una segunda capa de vinilo adicionando un agente de espesamiento para darle forma y textura similar al cuero.

El calor del horno hará que el agente de espesamiento se expanda con el fin de hacer que el vinilo se endurezca y la segunda capa se adhiera a la primera capa de la mezcla, finalmente, para que el cuero sintético tenga una base, se coloca una tela sobre el vinilo con ayuda de los rodillos y se retira el papel siliconado de la primera capa de vinilo, se adiciona una resina como revestimiento que aumentará la durabilidad del material. El uso de estabilizadores de luz ultravioleta se hace necesario para hacer un material resistente a los rayos solares, se puede adicionar una solución retardante de llamas, tintes para obtener los colores deseados y aditivos para distintas características del material [12].

1.2.2 A partir del poliuretano

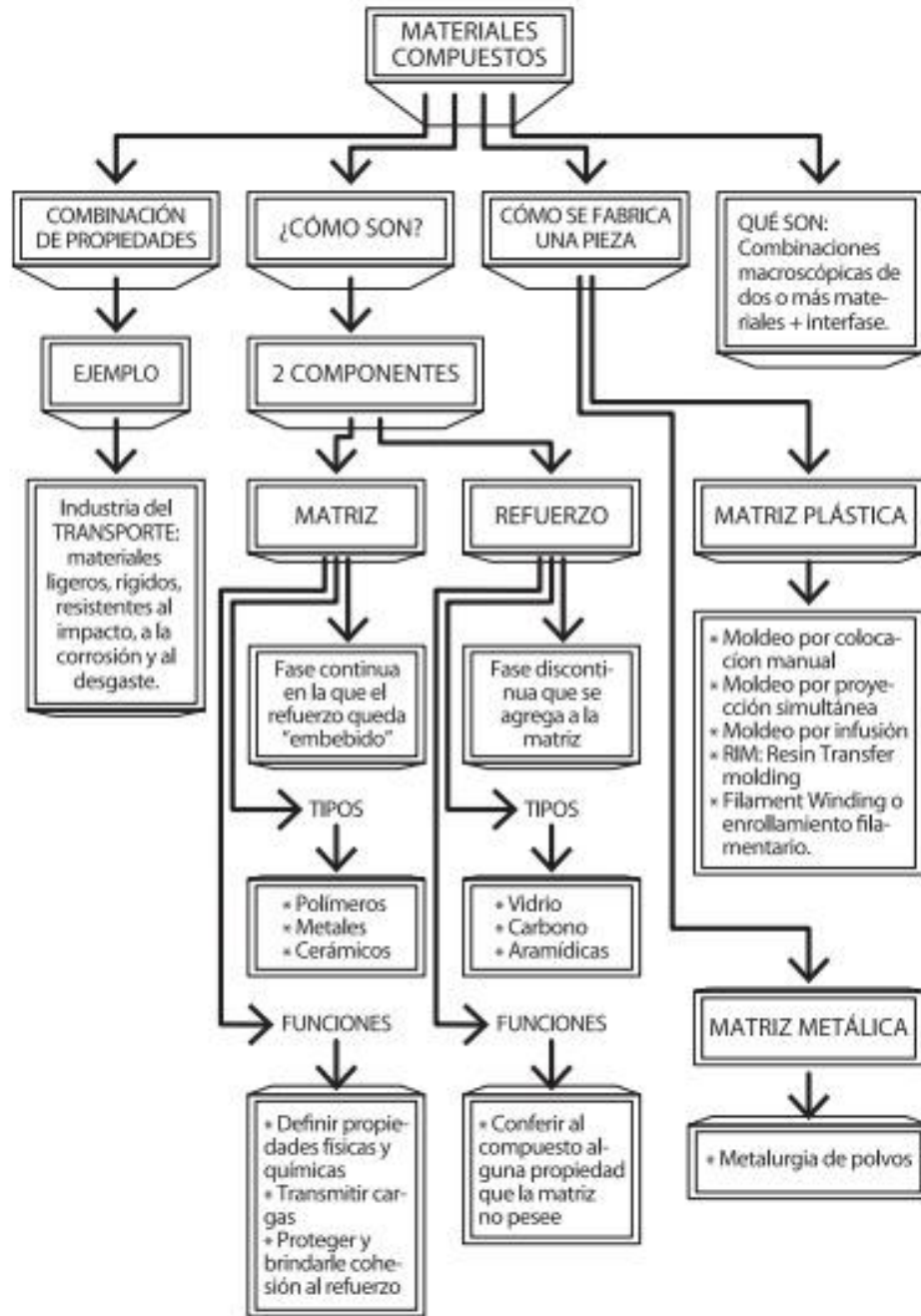
Al igual que en el PVC este método debe tener una tela que será la base del cuero sintético, se le adiciona una primera capa de solución de poliuretano y se lleva a un horno a 100°C aproximadamente, eliminando la humedad y permitiendo que la primera capa de poliuretano se adhiera a la tela. Se debe crear una solución de resina de poliuretano y un solvente que pueda contener dimetilformaldehído, metiletilcetona y tolueno; se añade una capa fina de la solución a la primera mezcla de poliuretano con la tela y al instante se agrega una última capa de cera que puede ser parafina, por último, se funde toda la composición a una temperatura entre los 110°C y 140°C. Del mismo modo se le puede adicionar una solución retardante de llamas, tintes para lograr los colores deseados y prensar el material para obtener diferentes texturas [12].

1.3 Materiales Compuestos

“Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interface discreta y reconocible que los separa, debido a ello, son heterogéneos, es decir, sus propiedades no son las mismas en todo su volumen” [13]. Si bien algunos materiales compuestos son naturales (como la madera o el hueso), la gran mayoría de los materiales compuestos utilizados en la actualidad son diseñados y fabricados por el hombre [13], con el fin de que las propiedades finales del material superen a las propiedades iniciales de cada material por separado, estos están compuestos de un matriz, un refuerzo y una interfase [14], como se puede observar en las figuras 3 y 4.

Figura 3.

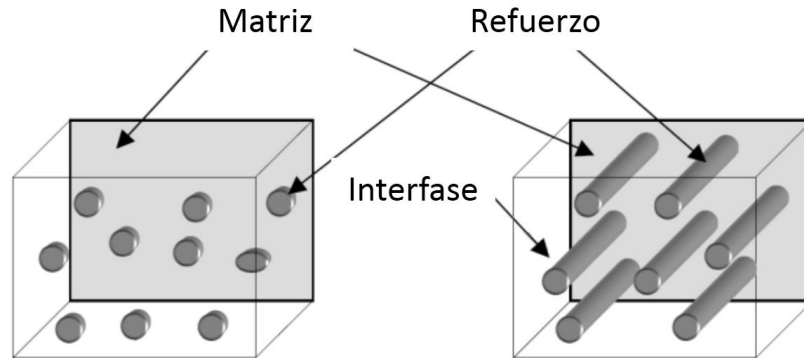
Estructura de un material compuesto



Nota. Mapa conceptual de generalidades de los materiales compuestos. Tomado de: F. Stupenengo. (2011). *Materiales y materias primas*. Ed.1ra., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Grupo Editoria Educar, cap. 10. [En línea]. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>

Figura 4.

Anatomía de un material compuesto



Nota. Representación de la matriz, refuerzo e interfase en un material compuesto. Tomado de: Universidad Autónoma de Baja California. “Materiales compuestos, materiales fascinantes”, Revista Ondícula, Divulgación y Difusión de Ciencia y tecnología. [En línea]. <http://www.revistaondicula.com/materiales-compuestos-materiales-fascinantes/> [Acceso: ago. 22, 2021].

1.3.1 Matriz

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda inmerso, configura geoméricamente a la pieza y da cohesión al material, suele elegirse para la matriz un material no debe ser tan rígido sino debe ser flexible y poco resistente (a excepción de la cerámicas) [13].

Por lo general la matriz es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto, pero entre sus funciones principales se destacan la de definir las propiedades físicas, químicas y mecánicas, proteger y brindar cohesión, evitar las fisuras y determinar algunas características del material compuesto como la confortabilidad y el acabado superficial. Esta también está encargada de transmitir las cargas al refuerzo, ya que al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles [13]:

- Bajo cargas compresivas: La matriz es la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua [13].

- En tracción: La matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo [13].

Existen tres tipos de matrices que se pueden utilizar y estas son:

- Polimérica: Resistente a la corrosión y a los agentes químicos [15], son las más utilizadas comúnmente, ya que la mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables están disponibles en el mercado [13].

Entre estas matrices, existe una clasificación, las cuales se dividen en matrices poliméricas termoplásticas, estas al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeabilidad en la forma deseada, que quedará preservada al enfriarse; matrices poliméricas elastómeras, que poseen cadenas con mucha libertad de movimiento molecular (flexibilidad); y las matrices poliméricas termoestables, que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados, debido a que tienen una estructura entrecruzada y por lo tanto tienden a ser resinas de mucha rigidez, y al someterlos a temperatura elevada promueve la descomposición química del polímero, a temperatura ambiente son duros y frágiles [16].

- Cerámica: Ofrecen una baja tenacidad y alta resistencia a la temperatura [15], como una ventaja, estos son más livianos que los materiales con de matrices metálicas cuando se requiere de aplicaciones a condiciones de operación con altas temperaturas.
- Metálica: Ofrecen una alta resistencia a compresión y baja a la corrosión [15], permite que el compuesto funcione a altas temperaturas, incluyen materiales como el aluminio, magnesio, cobre, níquel, pero la producción de una pieza de material compuesta con esta matriz resulta más costosa que la de una pieza fabricada con una matriz polimérica [13].

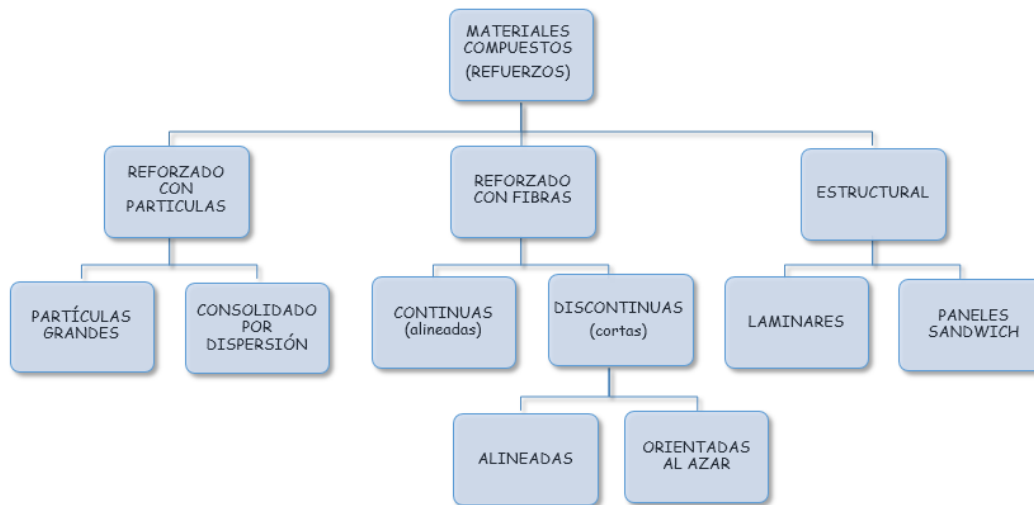
1.3.2 Refuerzo

Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para otórgale al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas pero también se emplean para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El refuerzo puede ser en forma de partículas, de fibras o de forma estructural. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas pero los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras. En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas otorgan resistencia, rigidez y poco peso, por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes [13]. Una forma más sencilla de visualizar lo antes dicho es por medio de la figura 5.

Figura 5.

Tipos de refuerzo en los materiales compuestos



Nota. Clasificación de refuerzos en los materiales compuestos, Tomado de: A. Moral Borque y M. Nogueira López. (jun., 2017) “Materiales de Última Generación y Materiales Eficientes: Materiales Compuestos - Composites”. [En línea], Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Introducci%F3n%20Composites%20%28Alberto%20Moral%20%2B%20Marar%20Nogueira%29.pdf. [Acceso, sep. 5, 20021].

1.3.3 Interfase

Las propiedades de los materiales compuestos también dependerán de cómo sea la interfase (la región de contacto) entre la matriz y el refuerzo. Si la interfase es débil, la transferencia de carga

de la matriz a la fibra no será eficiente y/o bien será la matriz la que termine soportando las cargas (y fallando, puesto que no es muy resistente), o se producirán huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza. Lograr una buena adhesión entre la fibra y la matriz no es fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (polímero - metal - cerámico) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que resulten más compatibles con la matriz, para así aumentar la adhesión entre los componentes del material compuesto [13].

1.3.4 Fabricación

Existen dos principales métodos de obtención para un material compuesto.

- Prensado plano: Se ejerce una presión aplicada perpendicularmente al plano de las caras [15].
- Adhesivo termoendurecible: El adhesivo se solidifica cuando se calienta, como por ejemplo la melamina y el fenolformaldehído [15].

1.4 Resinas

Es bastante claro que las resinas son necesarias en el proceso de un sustituto del cuero puesto que estas aportan propiedades al producto terminado con el fin de que el aspecto sea similar al del cuero fabricado a partir de las curtiembres, esta sería la matriz si nos referimos al sustituto como un material compuesto.

Las resinas son un polímero líquido de aspecto viscoso, dentro del proceso, las resinas junto con aditivos y/o acelerantes le dan características adicionales al cuero como lo pueden ser la flexibilidad y resistencia, se requiere de al menos dos etapas de rocío en el que se adhiere la resina al producto y una última etapa adicional en la que por medio de un termofijador se fijan las resinas al producto ya terminado. Actualmente se puede decir que existen dos tipos de resinas bastante populares dentro de la industria, estas serían las resinas de poliéster y las de polipropileno. Y como cualquier otro material estas se pueden clasificar, como se puede observar más adelante [17].

1.4.1 Poliéster

Como resina termoestable, el poliéster es una de las resinas más utilizadas para la fabricación de fibras y telas no tejidas gracias a sus propiedades en las que otorga resiliencia, resistencia a la humedad y a diversos productos químicos, hidrofobia, es bastante resistente y adicionalmente adhiere fácilmente a las fibras naturales y a otro tipo de recubrimientos. Es capaz de tolerar tinturas y solventes, no se encoge ni se estira y se puede secar fácilmente [17].

1.4.2 Polipropileno

Aunque el polipropileno puede considerarse como una resina bastante útil, en el sector de la indumentaria no ha sido bastante beneficioso debido a su bloqueo hidrofóbico de la coloración y su baja resistencia al calor y a la radiación (lo que puede causar decoloración o deformación en la tela), por tanto, son más utilizados como telas filtrantes para la filtración húmeda en las industrias química y farmacéutica [17].

1.4.3 Clasificación de las resinas

Las resinas se pueden dividir en resinas naturales y resinas sintéticas.

1.4.3.a Resinas sintéticas. Sustancias sólidas o semisólidas, se obtienen a partir de una reacción química, donde las materias primas pueden ser resinosas y no resinosas, poseen aspectos y propiedades físicas semejantes a las resinas naturales. Dentro de este grupo de resinas, existen algunas resinas que sobresalen para realizar el sustituto del cuero ya que este es un material compuesto ya que asimila un material no tejido, estas resinas son las de butadieno, acrilatos y copolímeros de vinilo, como se muestran a continuación según M. Kannadaguli y R. Kotra [18].

- Acrílico: Ofrecen una mayor durabilidad, estabilidad de color y rendimiento en seco y húmedo. Estas se pueden formular para variar de una textura muy suave a extremadamente dura, por otro lado, estas tienden a ser más costosas.
- Acrílico estireno: Son resistentes e hidrófobas, la mano terminación puede variar de suave a firme, se pueden usar en aplicaciones en las que existe la necesidad de alguna resistencia en húmedo, aunque puede generar poca resistencia a los rayos UV y a los disolventes.
- Acetato de vinilo (VAC): Dan terminados firmes y son relativamente de bajo costo, ofrecen una buena resistencia en seco y buena tenacidad, pero son algo hidrófilas y pueden tornarse amarillas cuando se somete a calor.

- Acrílicos Vinílicos: Son más hidrófobos que los aglutinantes VAC, proporcionan una muy buena tenacidad, flexibilidad y una mejor estabilidad del color, el acabado puede variar de suave a firme.
- Etilenvinilacetato (EVA): Estos dejan un terminado suave, tienen alta resistencia a la humedad y una excelente absorbencia, tienden a tener más de un olor en comparación con otros aglutinantes.
- Estireno-Butadieno: Combina buenas características de flexibilidad y tenacidad, son muy hidrófobas y duraderas, estas pueden verse afectadas por el calor y la luz debido a su tendencia a oxidarse.
- El etileno / cloruro de vinilo (EVCI): Estas presentan una buena resistencia al agua y a los ácidos junto con una excelente adhesión a las fibras sintéticas, pero tienden a amarillarse con el envejecimiento.

1.4.3.b Resinas naturales. Son destilaciones de árboles, de leguminosas o de especies fósiles que no son solubles en agua pero sí en alcohol. Estas resinas son utilizadas algunas veces en la industria textil, pero en general su uso es limitado [19], de este grupo se destacan:

- **Ámbar:** Resina de pino endurecida por el tiempo, su composición es una mezcla de varias resinas, ácido succínico y un aceite volátil (alcanfor) [20].
- **Resina verdadera:** Resina dura y quebradiza, parecida exteriormente a la goma, es insoluble y no se reblandece en el agua, la más típica es la colofonia [21].
- **Gomorresinas:** Es una mezcla natural de goma y resina que se emulsiona al mezclarse con agua, pueden contener un aceite esencial volátil para agregarles olor y suele utilizarse como adhesivo natural [21].
- **Lactorresinas:** Son resinas vegetales procedentes del látex coagulado, contienen productos derivados de la polimerización del isopreno [21].

1.4.4 Métodos para la aplicación de resinas

Existen 4 métodos para la aplicación de las resinas según M. Kannadaguli y R. Kotra [18]:

1.4.4.a Saturación. Se utiliza cuando se debe hacer una aplicación rápida de aglutinante/matriz/resina, para aplicaciones que requieren resistencia, rigidez, y la máxima

encapsulación de la fibra; los niveles de adición de aglutinante van desde 20% a 60%. Las ventajas que ofrece este método son la simplicidad, resistencia a la tracción controlable y la suavidad por la elección y la cantidad de aglutinantes, pero presenta una desventaja, que es la influencia del aglutinante en la suavidad [18].

1.4.4.b Unión mediante espuma. Implica el uso de aire y del agua que sirven como diluyentes, que forman un medio portador para el aglutinante, la espuma se genera mediante la introducción de aire en el aglutinante, mientras que es agitado mecánicamente. Las ventajas que ofrece este método son que el sistema requiere menos energía en el proceso de secado debido a que se utiliza poca cantidad de agua, existe menos migración de aglutinante y la suavidad es controlable, pero la desventaja que se presenta es la dificultad de formar de la espuma adecuada [18].

1.4.4.c Spray bonding. Este método consiste en rociar el aglutinante sobre el no tejido/fibras que se encuentra en movimiento ya sea mediante la presión atmosférica, la presión hidráulica o una fuerza centrífuga, formando así unas finas gotas sobre el material a través de un sistema de boquillas que hacen que la distribución del aglutinante sea uniforme. La adición del aglutinante suele hacerse dos veces y cada vez que se rocía el material debe pasar a través de una zona de secado para eliminar el agua y también deberá pasar por una zona de calentamiento para fijar el aglutinante [18].

1.4.4.d Print bonding. El método consiste en aplicar el aglutinante en áreas determinadas del no tejido, la aplicación de este tiene patrones ya establecidos que permiten mejorar las propiedades del no tejido, como lo pueden ser la resistencia, la suavidad, el tacto, el transportes de fluidos, entre otras. Para realizar la aplicación se hace uso de rodillo de grabado donde el área y la profundidad de la aplicación dependerán de la cantidad de aglutinante [18].

1.5 Fibra

La fibra es un material polimérico, que puede ser largo, delgado y flexible, tiene propiedades como su alta cristalinidad y una gran cohesión molecular que la hacen ser un material resistente, por lo que su uso principal es la obtención de tejidos [22].

Las propiedades ideales en una fibra son un alto punto de fusión, que la haga aptas a tratamientos térmicos, ya sean de tintura o planchado, una suficiente resistencia y elasticidad, una buena

tintabilidad, donde se le pueden aplicar color de forma permanente y una hidrofiliidad moderada que les permite ser confortables al contacto con la piel [22].

Las fibras se pueden utilizar en productos textiles y se clasifican en función de su origen, de su estructura química o de ambos factores. Pueden dividirse en tres clases: fibras naturales y fibras hechas por el hombre.

1.5.1 Fibras naturales

Éstas se pueden dividir en grandes rasgos en fibras animales, vegetales e inorgánicas o minerales.

- Fibras animales: Se encuentran en los animales y están compuestas principalmente de proteína, como lo puede ser la lana, la alpaca, la seda, etc., son resistentes a varios de los ácidos orgánicos, pero no son resistentes a las bases poco agresivas y álcalis, ya que pueden disolver las proteínas [22].
- Fibras vegetales: Son originarias de las plantas y están compuestas principalmente de celulosa, son fibras resistentes a los álcalis y a varios ácidos orgánicos, pero no tanto a los ácidos minerales; sus aplicaciones se ven en la industria del papel como el algodón y el lino que son la base de papeles rugosos, están el cáñamo y el yute que se usan para fabricar papeles de embalaje [22]. El presente trabajo de investigación hace referencia a las fibras vegetales.
- Fibras minerales: Son fibras de origen natural e inorgánico, la más destacada es la fibra de vidrio que se utiliza regularmente a gran escala, pero también se puede encontrar la fibra de sílice, las fibras cerámicas, las lanas de roca, entre otras [22].

1.5.2 Fibras hechas por el hombre

Éstas se pueden dividir en grandes rasgos en fibras celulósicas y no celulósicas.

- Fibras celulósicas: “Son fibras que proceden de la naturaleza, pero que han sido tratadas por el hombre, se conocen como las primeras fibras sintéticas” [22], como el acetato y el caucho.
- Fibras no celulósicas: No son de origen natural, por lo que se conocen como fibras químicas sintéticas, sus propiedades se modifican dependiendo a lo que se necesite [22], un ejemplo de estas es el poliéster.

1.6 Caña de azúcar

Originaria de india, es un tallo que puede llegar a medir 5 m de altura. Dentro de su composición presenta aproximadamente 14% de sacarosa para la fabricación del azúcar, 40 kg/tn de melaza y 150 kg/ton de bagazo [23].

La caña de azúcar se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales de la tierra. En Colombia se cultiva en forma productiva desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 2.000 metros en las más variadas condiciones de temperatura, luminosidad, precipitación y calidad de suelos [24]. El sector agroindustrial de la caña de azúcar se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca en los que se encuentran 6 departamentos como lo son Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta que abarcan 51 municipios [25]. Actualmente en Colombia existen alrededor de 225.000 hectáreas dedicadas al cultivo de caña de azúcar [26] y, aunque el cultivo ha disminuido en menor medida es el cuarto productor agroindustrial de divisas después del café, las flores y el aceite de palma.

El clima tan variado de la región hace que se pueda sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año y gracias a ello la región se ha podido especializar en el cultivo tanto así que Colombia tiene el liderazgo en productividad a nivel mundial con más de 14 toneladas de azúcar por hectárea al año [26].

En el año 2020 se logró producir un total de 24,3 millones de toneladas de caña; 2,3 millones de toneladas de azúcar de las cuales se destinan al consumo interno 1,6 millones y el restante (aproximadamente el 33%) se exportaron por un precio de 327 millones de dólares. Adicionalmente, se produjeron 438 millones de litros de bioetanol a partir de esta materia prima. La agroindustria de la caña representa el 0,6% del Producto Interno Bruto total nacional y el 3,7% del PIB agrícola nacional, en el Valle del Cauca representa el 31,4% del PIB agrícola mientras que el Cauca tiene cerca del 19,7% [25].

Se encontraron algunos datos de la caña de azúcar según Finagro [24]:

- El periodo vegetativo puede durar entre 13 y 15 meses.
- La producción promedio por hectárea es de 120 toneladas.
- El rendimiento promedio de sacarosa es de 11,6%.

- Existe variedad de caña de azúcar que depende del área geográfica y la disponibilidad de semilla.
- El 60% de los costos se ejecutan en los tres primeros meses.

A partir de la caña de azúcar se puede elaborar azúcar, panela, compost agrícolas, vinaza, ceras, fibra absorbente, entre otros.

1.6.1 Bagazo de caña de azúcar

Principalmente es un subproducto de la fabricación de azúcar, alcohol y etanol, proviene de diferentes partes del tallo de la caña y contiene 45% de fibra de la cual el 45% es celulosa, 33% hemicelulosas y 20% de lignina. Sus dos partes fundamentales son la fibra derivada principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo, y la médula o meollo que es la parte en donde se almacena el líquido que contiene el azúcar. Dentro de su composición química podemos encontrar 47% carbono, 44% de oxígeno, 6,5% de hidrógeno y 2,5% de cenizas [12].

1.6.2 Fibra de caña de azúcar

Las fibras obtenidas a partir de la caña de azúcar pueden ser largas y finas en la parte de la corteza del tallo y en la parte inferior se encuentran las fibras más cortas. Las que provienen del bagazo de caña de azúcar pueden presentar irregularidades en cuanto a finura y tamaño puesto que el bagazo se compone de ambas partes de la caña de azúcar [27].

2. PROPIEDADES DEL CUERO

2.1 Composición de la piel

Antes del proceso de curtiembre la piel se encuentra hidratada por lo que presenta ciertas propiedades, como se pueden observar en la tabla 1, las cuales cambian a medida que se procesa la piel.

Tabla 1.

Composición química del cuero

Sustancia	Composición [%]
Agua	64
Proteínas	33
Grasas	2

Nota. Tabla de composiciones químicas que posee la piel antes de que entre a la curtiembre. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

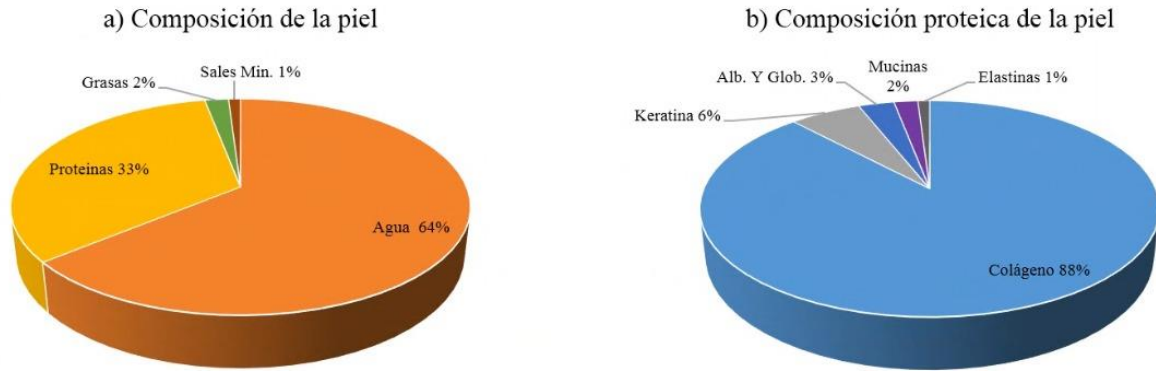
La anterior tabla muestra que la piel está constituida en mayor medida por agua, en un 64%, seguido de ella se compone de proteínas y después de grasas, aunque este contenido puede variar dependiendo del tipo de piel (el cuero de cordera presenta menor porcentaje) [9].

En donde las proteínas se dividen en estructuradas y no estructuradas, las estructuradas, que son las que están en mayor proporción en la piel están constituidas por colágeno (88%), queratina (6%) y elastina (1%); las no estructuradas corresponden al 5 % y están constituidas por albuminas, globulinas y mucinas [9], lo anterior descrito se puede observar mejor a través de la figura 6.

Cuando la piel entra a la curtiembre, se realizan procesos en donde estas composiciones iniciales varían, con el fin de darle otras características a la piel, por ejemplo las proteínas no estructuradas se eliminan en el remojo (donde se le da una limpieza e hidratación a la piel), la elastina y queratina se eliminan en los procesos de pelambre y rendido (remoción del pelo de la piel), el agua se reduce en el proceso de secado (hasta llevarlo a la humedad ideal) y las grasas se eliminan en el desengrase (que favorece las propiedades mecánicas y de apariencia de la piel) [9].

Figura 6.

Distribución porcentual de los componentes de la piel



Nota. a) Porcentajes la composición química de la piel antes del curtido, b) Composición proteica de la piel antes del curtido. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

2.2 Propiedades químicas

Idealmente todo material debe ser caracterizado tanto físicamente como químicamente, para conocer las propiedades que este pueda brindar, esto permitirá saber el tipo de calidad que posee el material e indicará los tipos de aplicaciones donde puede usarse, el cuero se caracteriza físicamente en gran medida, ya que con esas propiedades se distribuye y se procesa dependiendo de la magnitud de cada propiedad física, la caracterización química es realizada con menor detalle en comparación con las físicas o las mecánicas, más aun en Colombia, estas propiedades no son muy realizadas por los distribuidores de cuero, ya que muchos no cuentan con la tecnología para realizarlo y la realización de estos en laboratorios externos no es muy común debido a la alza de los costos.

Las propiedades químicas que se realizan en el cuero principalmente son la humedad, contenido de grasas, contenido de óxido de cromo, contenido de cenizas sulfatadas y pH [28] [29], estas se miden teniendo en cuenta las zonas de muestreo indicada para la hoja de cuero, como se describe en las propiedades mecánicas.

2.2.1 Humedad

Puede variar dependiendo de las condiciones externas a las que está expuesta la piel, esto puede causar cambios en las propiedades físicas del cuero. El contenido de humedad ideal para la piel se considera entre un 12 a 14 %, lo cual le proporciona suavidad y caída al material. Se determina mediante el secado de una muestra de cuero de peso constante a una temperatura de 100 a 102° C por aproximadamente 2 a 5 horas, se mide la diferencia de peso inicial y final para determinar el peso perdido, en este también se volatilizan algunos disolventes o aceites de la piel, pero representa una pequeña cantidad en comparación con el agua evaporada) [28].

2.2.2 Contenido de grasas

El nivel de grasa presente en el cuero está determinado en el proceso de curtido (donde la piel se trata químicamente para detener su putrefacción), tiene un papel importante en el acabado final del material, ya que, la piel final debe de quedar con un contenido de grasa muy bajo (la cual se constituye de carnazas o sebos y grasas constitutivas de la piel, como las glándulas sebáceas), el desengrase de la piel bovina se lleva a cabo por medio de la agregación de tensoactivos (alquifenoles etoxilados) en la etapa de remojo y limpieza del cuero [9].

Cabe resaltar que cuando el contenido de agua se reduce, las grasas toman una composición del 80 al 50 % en la piel, por lo se debe disminuir dicho contenido, si la grasa no es removida puede afectar: las propiedades mecánicas (disminuyendo la resistencia), el tacto de la piel (siendo de tacto duro, poco flexible) y el acabado (desarrollando manchas de pintura o dejando un acabado “*repousse*”, en donde algunos de sus componentes migran a la superficie durante condiciones frías dejando una película blanquecina de grasa solidificada en la piel) [9].

Existen varios procedimientos para determinar el contenido de grasa, pero el más común es el método por extracción Soxhlet, en donde una muestra de cuero es puesta en contacto con un disolvente, el cual va a extraer la grasas de dicha muestra, el disolvente debe ser compatible con la grasa, por ende suele usarse disolventes no polares como el cloroformo, hexano o éter de petróleo. Los niveles de grasa en un cuero pueden variar de 1 o 2 por ciento y en algunos casos dependiendo del tipo de animal pueden llegar hasta el 15-20 por ciento [28].

2.2.3 Contenido de óxidos de cromo

Se realiza si el curtido se hace a través de sales de cromo (ya que también se puede hacer por licor curtiembre de hojas/ramas provenientes de árboles como el pino o eucalipto [4]). La cantidad de

romo presente se expresa como óxido crómico y pueden dar información sobre el tipo de proceso de curtido utilizado (si se usa solo sales de cromo o si se utiliza en conjunto con otros taninos, como aldehído), los niveles de óxido de cromo deben ser bajos (indicando un buen curtido) aunque resulte dejando en el cureo una pobre resistencia al calor [28], el contenido puede variar entre 2 a 5 % [29].

Existen varias técnicas disponibles para determinar la cantidad de cromo presente en piel, que pueden ser avanzadas como la de absorción atómica, pero el método tradicional consiste en incinerar la piel por una hora a 800°C, ya obtenidas las cenizas se procede a realizar una valoración con tiosulfato sódico en presencia de yodo [30].

2.2.4 Contenido de cenizas sulfatadas

Indica el grado de taninos libres, colorantes, sales y otras sustancias presentes que quedan después del proceso de curtido, las cuales no se han fijado totalmente (corresponden a la materia inorgánica no volátil del cuero [30]), deben ser eliminados por un proceso de lavado. Si estos no son eliminados y están presentes en una concentración alta pueden conllevar a problemas de inestabilidad en el tinte (color pobre), el contenido de estos se controla a través de un buen proceso de curtido y se miden después de haber desengrasado en cuero [28].

El proceso consiste en sumergir una muestra de cuero en agua, después, evaporar el agua, permitiendo que el peso de sustancias solubles en agua que se pueda determinar, luego de esto la materia soluble en agua se incinera a 600°C, y las cenizas se humedece con ácido sulfúrico, se vuelve a incinerar a 800°C para poder pesar al final la metería inorgánica resultante y calcular la diferencia [30].

2.2.5 Potencial de hidrogeno (pH)

La escala del pH es una forma de determinar la forma de ácido o alcalino de un material o sustancia, la mayor parte del cuero tiene un valor de pH entre el 3.2 a 5.5 considerándose ácida (resultado del proceso del salado, donde se deshidrata la piel), normalmente con este valor no se presentan problemas de salud para las personas que trabajan con el cuero o para las que utilizan los productos terminados. Si el pH del cuero es muy bajo, indica que el proceso de curtido y salado no se ha llevado a cabo correctamente, haciendo que el cuero pueda degradarse prematuramente, también se puede ver afectado el producto de acabado que se aplique en dicha piel [28].

El pH se puede medir aproximadamente a través de papel indicador húmedo que se colocan en se colocan en contacto con la piel. Si se quiere un poco más de precisión, se mide el pH de un volumen de agua conocido en la que ha sido mezclada una muestra de cuero [30], esta prueba es realizada bajo la norma DIN 53312 o IUC 11.

2.3 Propiedades físicas

Son las muy utilizadas en el control de calidad, distribución y compra del cuero, ya que permite conocer en poco tiempo y dinero en que usos puede adaptarse dicha hoja de cuero, entre estas las que más se destacan son el espesor, el área y la densidad aparente.

2.3.1 Espesor

El espesor del cuero es útil y necesario para el sector del comercio, ya que este indica cual es el uso que podría darse a la piel y el precio de venta, sobretodo el cuero bovino puede tener una gran variación de espesor, ya que puede separar en capas, cuando se separan en capas finas, por ejemplo los cueros de calibre delgado (0,5 a 10 mm), son cueros más manipulables usados para tapicerías, calzado de hombre, chaquetas, etc., los cueros de calibre medio (14 a 20 mm), son utilizados para bolsos, marroquinería en general, zapatos de dama, etc., los cueros de calibre grueso (25 a 30 mm), se usan para suelas de calzado o aplicaciones específicas como cinturones. También es necesario para el cálculo de propiedades como densidad aparente o las resistencias mecánicas (tracción, desgarre y porcentaje de alargamiento) [31].

Se determina por medio de un calibrador micrométrico de disco, montado sobre una base firme, la presión aplicada es de 500 g/cm^2 , donde el cuero se coloca en el calibrador con el lado flor (parte que estaba recubierta de pelo) hacia arriba, se aplica la carga suavemente y cinco segundos después de haber aplicado la totalidad de la carga se toma la lectura [31], también puede usarse un calibrador o pie de rey, en la figura 7 se puede observar el calibrador utilizado para medir el espesor.

Figura 7.

Calibrador análogo para cuero



Nota. Herramienta para medir el espesor de cuero, que se utiliza en las distribuidoras y comercializadoras de hojas de cuero. Tomado de: SBA CURTIDOS, [En línea], Disponible: <https://www.curtidosba.es/blog/como-medir-un-cuero>. [Acceso, ago. 21, 2021].

2.3.2 Área superficial

Sirve para verificar y/o determinar la medida del cuero en decímetros cuadrados o pies cuadrados, determina el precio de la hoja. El proceso de medición consiste en determinar el área de una hoja o vaqueta de cuero, en estado seco, con una máquina que utiliza fotoceldas con sensores, también llamada maquina medidora de cuero (esta puede verse en la figura 8), se estira el cuero sobre la máquina con el lado flor arriba y se procede a su medición [31].

Figura 8.

Maquina medidora de cueros marca master



Nota. En la imagen izquierda de fuente propia, está la maquina medidora de cuero marca Master, la cual está ubicada en la empresa Sortercueros en Bogotá; en la imagen derecha es la misma maquinas pero de un modelo reciente. Tomado de Frantec Máquinas, [En línea], Disponible: <https://frantecmaquinas.com.br/wp/> [Acceso, ago. 21, 2021].

2.3.3 Densidad

Es una propiedad que no siempre se mide en la comercialización de las hojas de cuero, pero tiene particular interés en el cuero para suela, como medida directa de la presencia de cargas pesadas.

La densidad, definida como el cociente entre la masa y el volumen, es una propiedad física fundamental para cualquier material, como el cuero es un material poroso, con grandes espacios entre las fibras vacías, el verdadero volumen de las fibras se mide con poca exactitud. Si el volumen se calcula a partir de las dimensiones de una probeta, sin restarle el volumen ocupado por los poros, el cociente entre la masa y el volumen se conoce como densidad aparente. Si se tiene en cuenta el volumen de los poros, entonces el valor obtenido se denomina densidad real (la densidad real es la densidad de las fibras) [31], para hacer este procedimiento se puede seguir la norma IUP 5.

2.4 Propiedades mecánicas

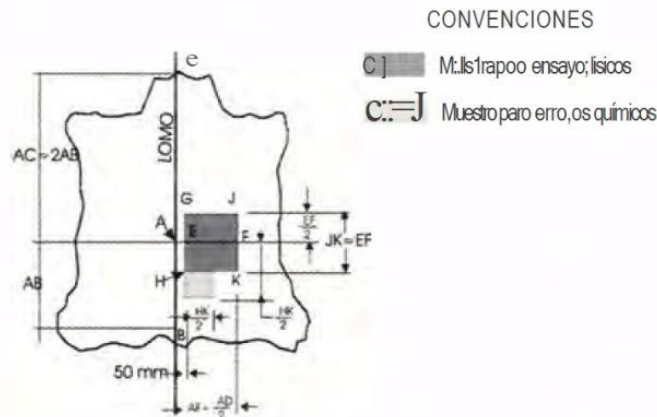
En cuanto a estas propiedades, se puede decir que son de las más importantes, debido a que pueden predecir el comportamiento de la piel durante su utilización, para ello es de gran importancia

escoger la zona de la piel a la cual se le realizaran las pruebas mecánicas, debido a que cada hoja de cuero no posee en su totalidad la misma composición química (lo que hace que las propiedades mecánicas del material se vean afectadas), aunque se ha demostrado que el cuero es perfectamente simétrico a ambos lados de la espina dorsal, no significa que estas propiedades sean iguales en cualquier zona de esta [9].

Por lo anterior se determina que para realizar ensayos físicos o químicos al cuero, con el fin de evaluar su calidad, es necesario definir las zonas de extracción de las muestras, como se puede ver ilustrado en la figura 9, en donde se resaltan las zonas más comunes de muestreo más adecuadas en la hoja del cuero [31].

Figura 9.

Localización de muestreo peles para ensayos físicos o químicos



Nota. Ubicación de la muestra para pieles enteras, cueros y medios cueros (hojas). El cuadrado G H K J, más el cuadrado correspondiente en el otro lado del lomo, constituye los límites de las áreas para el muestreo según la norma NTC 1041. Tomado de: Laboratorio de Control Calidad para Cuero y Calzado. “Guía para la Selección de Ensayos Manual del Usuario”. Centro de Nacional de Calzado y Manufactura del Cuero, SENA. 2003.

Ya obtenida la muestra de piel, se procede a determinar las propiedades mecánicas, entre ellas las más realizadas son la resistencia a la tracción, resistencia al desgarro y porcentaje de elongación, resistencia a la abrasión y la resistencia a la flexión, las cuales se describirán a continuación, pero existen muchas más pruebas como la determinación de absorción de agua, determinación de

impermeabilidad, resistencia al calor, entre otras, pero estas son realizadas cuando se hace algún uso específico (como calzado, suelas, guantes, etc.), por ende son se hacen con frecuencia.

2.4.1 Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación

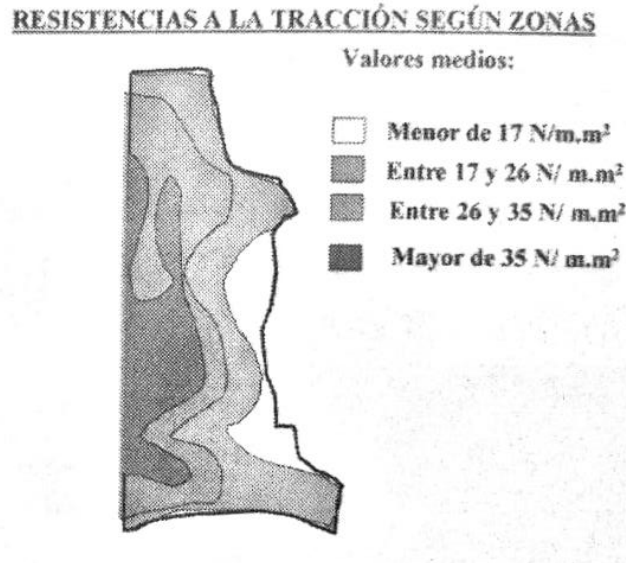
Tiene con fin determinar el comportamiento del cuero cuando está sometido a fuerzas en diferentes direcciones, comprueba que el cuero tiene la suficiente resistencia estructural, para los usos a los que va a ser destinado [31].

La prueba «Consiste en fijar una probeta de cuero de forma alargada entre las mordazas de un dinamómetro, seguidamente se procede a separar las mordazas a una velocidad constante mientras la fuerza ejercida sobre la probeta es medida en la celda de carga del instrumento. La fuerza aplicada tiene como fin la deformación de la probeta, la cual se estira hasta que se produce su rotura» [31]. Es necesario realizar el ensayo tres veces debido a que las propiedades del cuero varían dependiendo de la dirección y toma de la muestra, por lo cual se recomienda la mayor precisión en el corte de la probeta de cada hoja y que se realice en la dirección paralela e inclinada con respecto al espinazo, ya que de esa manera se obtienen valores más altos de resistencia [31] [9].

En la figuras 10 se puede observar cómo cambia la resistencia a la tracción según ciertas zona de la hoja del cuero, determinando así que la zona cerca a la espina dorsal presenta mayores resistencias, mientras que en la figura 11 se puede observar como la dirección de la probeta afecta también dicha resistencia, presentado la dirección paralela un 38% más resistencia en comparación a la dirección perpendicular, además que en dicha dirección también se presenta una elongación menor (50% menos).

Figura 10.

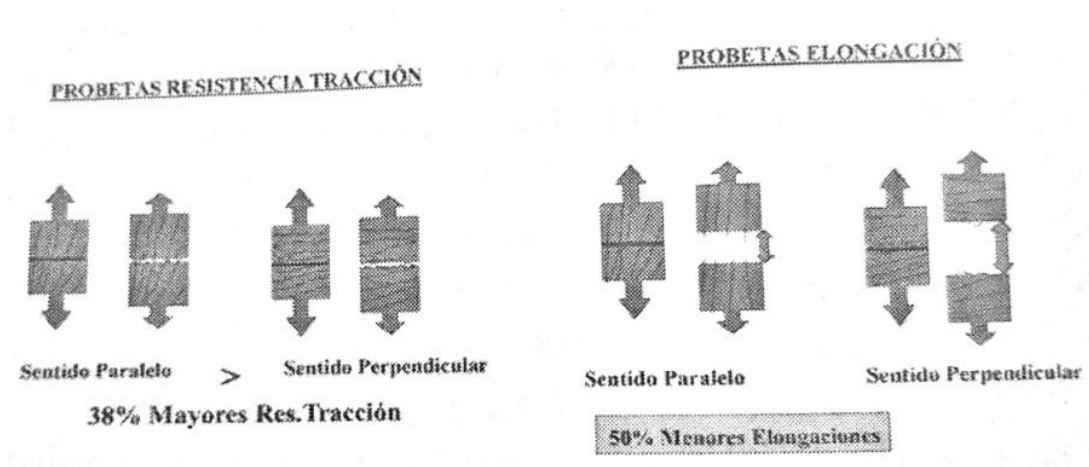
Resistencia a la tracción con respecto a la influencia de la zona de la piel



Nota. Zonas en la hoja de cuero donde varía la resistencia a la tracción. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

Figura 11.

Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación con respecto a la dirección de la probeta



Nota. Dirección de las fibras del cuero según la posición de la probeta y su afectación en la resistencia a la tracción. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

2.4.2 Resistencia al desgarro

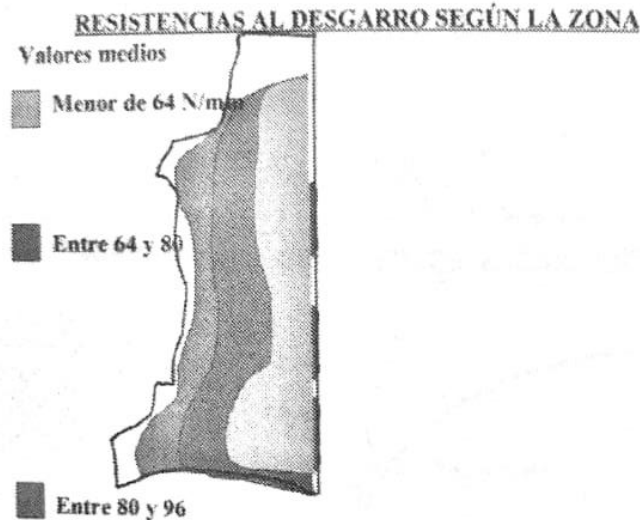
Es utilizado para evaluar la capacidad del cuero para aguantar las tensiones multidireccionales a que se encuentra sometido en sus usos prácticos y cotidianos, esta resistencia es necesaria cuando se requiere hacer cocidos, ojales y en todas las piezas con orificios o entalladuras que están sometidas a tensión [31].

Hay diversos métodos para decidir la resistencia al desgarre, ejemplificando, el procedimiento establecido por la norma IUP 8 establece la ejecución de una ranura en el interior (centro) de la probeta, los extremos curvados de 2 partes a modo de "L" se introducen en la ranura de la probeta, estas partes permanecen fijas por su otro extremo en las mordazas de un dinamómetro que al ponerse en marcha, las partes son introducidas en la probeta y al dividirse se reporta la fuerza máxima alcanzada [31].

Como en la resistencia a la tracción la tracción también se ve afectada por la zona de muestreo de la hoja del cuero, esto se puede observar en la figura 12, en la cual se observa que los mayores valores de resistencia se presentan en la orilla de la hoja, mientras que en la figura 13 se puede observar como la dirección de la probeta afecta también dicha resistencia, presentado la dirección paralela una menor resistencia en comparación a la dirección perpendicular.

Figura 12.

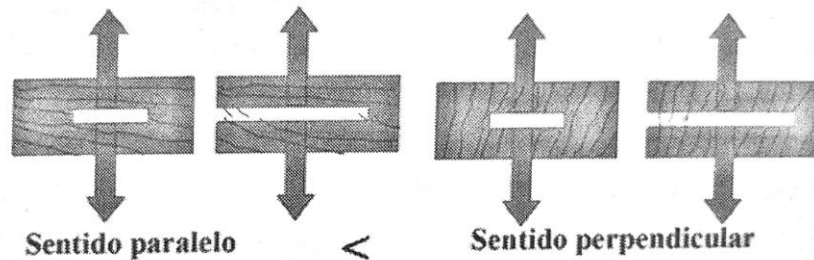
Resistencia al desgarro con respecto a la influencia de la zona de la piel



Nota. Zonas en la hoja de cuero donde varía la resistencia a al desgarro. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

Figura 13.

Resistencia al desgarro con respecto a la dirección de la probeta



Nota. Dirección de la fibras del cuero según la posición de la probetay su afectación en la resistencia al desgarro. Tomado de: R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.

2.4.3 Resistencia a la abrasión

Evalúa la resistencia al roce de cueros empleados, la prueba consiste en tener probetas de cuero sometidas a un roce sobre su superficie provocando un visible deterioro del acabado, para este procedimiento se pueden seguirse tres métodos, el primero está basado en la norma EN 388:1994, en la cual se usa un aparato llamado Martindale (se usa para productos como lo son los guantes de protección); el segundo método consiste en utilizar un abrasímetro Taber, en donde se hace frotos giratorios por medio de discos de granulometría CS-10 (se usa para la industria de marroquinería o tapicería); el último método es el Veslic, basado en la norma IUF 450 y Veslic C 4505, consiste en conocer la solidez del color del cuero al frote, utilizando una superficie endurecida como elemento de frote, el movimiento que realiza el roce es de vaivén [31].

2.4.4 Resistencia a la flexión

Determina el deterioro del acabado del cuero, que en su uso cotidiano se flexiona repetidamente, como por ejemplo cuando se usa en la capellada del zapato (donde se encuentra la zona de flexión por el empeine del pie).

En este ensayo se realiza por medio de un flexómetro (figura 14), donde la probeta se dobla a través de dos pinzas, la pinza inferior es fija y la superior se mueve hacia delante y hacia atrás en un ángulo de $22' 5^\circ$ (mismo ángulo de la flexión del pie al caminar), el dispositivo cuenta con un contador que mide el número de flexiones realizadas; se puede programar el equipo para que se detenga cada cierto número de flexiones y al final efectuar el examen visual del estado de la probeta, esta debe quedar en perfectas condiciones y no presentar resquebrajamiento (fisuras o grietas, cambio de color), generalmente este ensayo se lleva a cabo en condiciones secas [31].

Figura 14.

Flexómetro



Nota. En las imágenes de fuente propia, está el flexómetro junto con una probeta de cuero color negro, esta máquina está ubicada en la empresa Sortercueros en Bogotá.

En general las propiedades antes mencionadas son las más frecuentes al realizar pruebas de análisis de calidad para el cuero, cada una de estas propiedades esta dispuestas a cambios dependiendo de las condiciones ambientales o condiciones de uso de la piel, como por ejemplo la humedad, temperatura o la eficiencia en el proceso de curtido. En la tabla 2, se puede observar de forma resumida estas propiedades con su respectiva norma para evaluarlas.

Existen investigaciones en donde se busca la mejora de estas propiedades, sobre todo en cuanto a las propiedades mecánicas, en donde se buscan mezclas de resinas, polímeros engresantes con y sin lecitina, que sirven como recubrimiento en el acabado final del cuero, las cuales pueden mejorar dichas propiedades; pero hasta ahora se ha visto que al tratar de mejorar la apariencia del cuero alguna de estas propiedades puede verse afectada, un ejemplo de ello es cuando se intenta agregar productos para endurecer un poco la piel, lo que hace que la resistencia a la tracción disminuya [9].

Tabla 2.*Propiedades generales del cuero según norma y especificación*

Propiedad	Norma	Especificación	Magnitud
Espesor	IUP 4, NTC 1044	0,5 a 20	[mm]
Área superficial	IUP 32, ISO 11646	Según características de la hoja	[dm ² o ft ²]
Resistencia a la tracción	NTC 1049, UNE 59005-82, DIN 53328, BS 3144:5, IUP 6	Mínimo 800 N/cm ²	[N/cm ²] [daN]
Resistencia al desgarro	NTC 4575, IUP 8, ASTM D 2212, UNE 59024, DIN 53329, ASTM D 4704, ASTM D 4705.	Mínimo 20 N/mm	[N/mm] [N]
Resistencia a la abrasión	EN 388:1994, IUF 450, Veslic C 4505, DIN 53339.	5 (Seco: 50-500 ciclos) (Húmedo: 20-80 ciclos)	[Escala de grises] [Ciclos]
Resistencia a la flexión	NTC 4804, DIN 53351, IUP 20.	2000-20000	Flexiones (Seco)

Nota. En la tabla se muestran las propiedades más relevantes que se realizan en el cuero, con su respectiva norma para realizar la prueba y el rango de valores con sus respectivas unidades. Tomado de: Laboratorio de Control Calidad para Cuero y Calzado. “Guía para la Selección de Ensayos Manual del Usuario”. Centro de Nacional de Calzado y Manufactura del Cuero, SENA. 2003., y Tomado de: Cueronet. (s.f.) “Especificaciones de Cueros para Tapicería de Muebles”, [En línea]. http://www.cueronet.com/tecnica/esp_tapmue.htm [Acceso: oct. 10, 2021].

3. PROPIEDADES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de caña de azúcar (figura 15) es considerado como un subproducto en la industria agroazucarera y del mismo modo es el de más importancia ya que por cada tonelada de caña se producen alrededor de 264kg de bagazo, 6kg de cenizas y 30kg de cachaza [32] [33]; otros subproductos que se pueden obtener durante la cosecha son el cogollo y la paja, y también en el proceso industrial como lo son el ya antes mencionado, las mieles finales y la cachaza [34]. El bagazo es un material lignocelulósico, esto quiere decir que consiste en tres tipos diferentes de polímeros en los que podemos encontrar la celulosa, hemicelulosa y la lignina que a grandes rasgos son los que le dan la estructura, rigidez, soporte, impermeabilidad y resistencia al bagazo de caña de azúcar [35].

Figura 15.

Bagazo de caña de azúcar



Nota. Representación del bagazo obtenido después de la extracción de los jugos provenientes de la caña de azúcar. Tomado de EFE: AGRO, [En línea], Disponible: <https://www.efeagro.com/noticia/cana-azucar-2/>. [Acceso, sep. 18, 2021].

Aproximadamente el bagazo de caña de azúcar representa un volumen entre el 25% al 40% del total de materia procesada y esto depende del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la

extracción del jugo realizada [36]. La composición del bagazo de caña de azúcar se encuentra en la tabla 3; este tiene múltiples usos en diferentes industrias para la producción de biogás, obtención de etanol, sirve como materia prima para la generación de fuentes de energía renovables, como alimento para animales si se realizan tratamientos previos para mejorar su digestibilidad, entre otros.

Tabla 3.

Composición del bagazo de caña de azúcar

Característica	Composición [% p/p]
Humedad	2,15
Cenizas	1,19
Glucosa	42,21
Xilosa	20,86
Lignina ácida insoluble	19,54
Lignina ácida soluble	3,13
TOC	48,15

Nota. La tabla presenta la composición del bagazo de caña de azúcar obtenido a partir de un análisis gravimétrico para la obtención de la humedad, cenizas, extractivos y de lignina insoluble. Para la determinación de lignina ácida realizaron una espectrofotometría a 320nm y la determinación de azúcares por cromatografía líquida. Tomado de L. A. Troche Domínguez, *Producción de biogás a partir de residuos lignocelulósicos: Aplicación al bagazo*, España, Universidad de Valladolid, 2012.

Dentro de su composición química podemos encontrar diferentes componentes como lo pueden ser el carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre que varían dependiendo la calidad de la caña de azúcar, el lugar proveniente de la misma y las condiciones a las que se sometió la caña antes y después del cultivo. La tabla 4 especifica la proporción de cada uno de estos compuestos.

Tabla 4.

Componentes del bagazo de caña de azúcar

Componente	Composición [%]
Carbón	48,30
Hidrógeno	8,32
Oxígeno	42,87
Nitrógeno	0,43
Azufre	0,11

Nota. En la tabla se presentan los principales componentes que conforman al bagazo de caña de azúcar junto a su composición respectiva. Tomado de C. Rodríguez Correa, *Análisis termogravimétrico del bagazo de la caña de azúcar y de la cascarilla de café para la estimación de las constantes cinéticas en los procesos de gasificación*, Proyecto de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2009.

3.1 Composición física del bagazo de caña de azúcar

El bagazo está compuesto principalmente por sólidos particulados y agua en mayor proporción, los sólidos particulados representan alrededor de un 45% del total del bagazo, el agua se encuentra entre el 49% y el 51% y el restante se reparte entre los sólidos solubles y los sólidos no solubles y los podemos encontrar en una proporción del 2% al 3% cada uno [37].

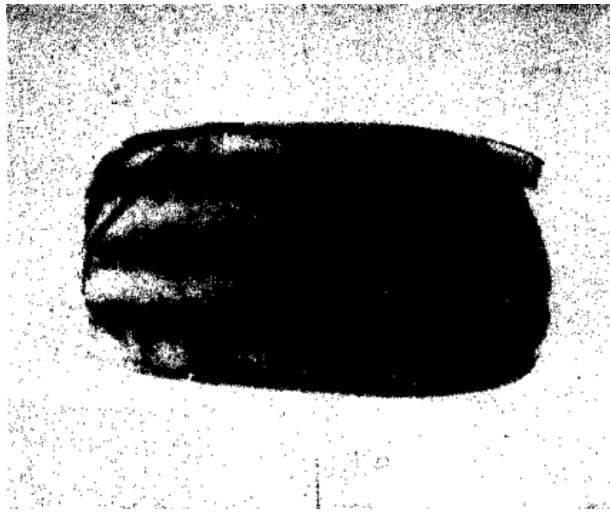
3.1.1 Sólidos particulados

A lo que le conocemos como sólidos particulados lo podemos definir como aquella fracción sólida orgánica, insoluble en agua y que está presente más que todo en el tallo de la caña, esta fracción es la portadora de los elementos necesarios estructurales para la producción de celulosa y papel [40]. Adicionalmente, los sólidos particulados cuentan con dos tipos de estructuras diferenciadoras determinadas como la fibra y la médula o meollo; la fibra está formada por células cilíndricas y tejidos vasculares de paredes duras que son las que le dan la rigidez y la resistencia a la misma. Por su parte la médula está conformada por células parenquimatosas y se caracterizan por ser paredes finas y muy porosas, generalmente son de forma irregular (figura 16), sin embargo, se han podido determinar que algunas pueden presentar formas esféricas y rectangulares como lo podemos apreciar en las figuras 17 y 18 respectivamente.

Podemos encontrar a la médula en la zona central de la caña y esta es de carácter esponjosa, tanto así que logra absorber hasta 20 veces su propio peso en agua y de igual forma cuenta con un tipo de pared muy fina con poca fuerza estructural [34].

Figura 16.

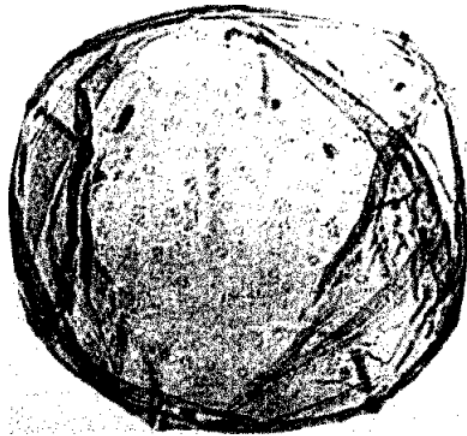
Célula parenquimatosa irregular



Nota. Imagen microscópica de una célula parenquimatosa de forma irregular que hace parte de la médula en el bagazo de caña de azúcar. Tomado de GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*, Cuba, GEPLACEA, 1990.

Figura 17.

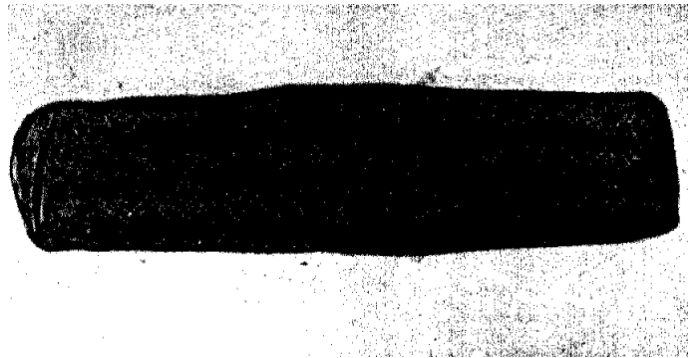
Célula parenquimatosa esférica



Nota. Imagen microscópica de una célula parenquimatosa de forma esférica que hace parte de la médula en el bagazo de caña de azúcar. Tomado de GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*, Cuba, GEPLACEA, 1990.

Figura 18.

Célula parenquimatosa rectangular



Nota. Imagen microscópica de una célula parenquimatosa de forma rectangular que hace parte de la médula en el bagazo de caña de azúcar. Tomado de GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*. Cuba. GEPLACEA, 1990.

Los sólidos particulados también presentan algunas cantidades de elementos finos o suciedades que acompañan a la caña durante el proceso de cosecha y transporte a la industria, estos valores se especifican en la tabla 5.

Tabla 5.

Composición de los sólidos particulados presentes en el bagazo de caña de azúcar

Componente	Composición [%]
Fibra	51,4
Médula	36,7
Finos/Suciedades	11,9

Nota. Composiciones obtenidas dentro de los sólidos particulados en el bagazo de caña de azúcar. Tomado de N. Aguilar Rivera, *Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga*, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Córdoba, México, 2016.

3.1.2 Sólidos no solubles

Estos también denominados fracción insoluble en agua, se componen de diversas sustancias inorgánicas como lo pueden ser materias extrañas, piedras o tierra que dependen principalmente de las condiciones del procesamiento de la caña bien sea en el tipo de corte o de la recolección, y aunque la fracción que representan no es significativa hay que tenerlos en cuenta [37].

3.1.3 Sólidos solubles

Por su parte los sólidos solubles si se pueden disolver en agua y están compuestos principalmente por sacarosa y otros componentes como ceras, pero en menor proporción [37].

3.2 Propiedades físicas

Especificando que las propiedades físicas encontradas en su mayoría fueron determinadas para partículas de bagazo de caña de azúcar y de no ser así se especificará en cada numeral. Estas propiedades físicas son aquellas que son propias del bagazo y medibles específicamente a partir de la observación o la medición con diferentes aparatos o por medio del cálculo de estas.

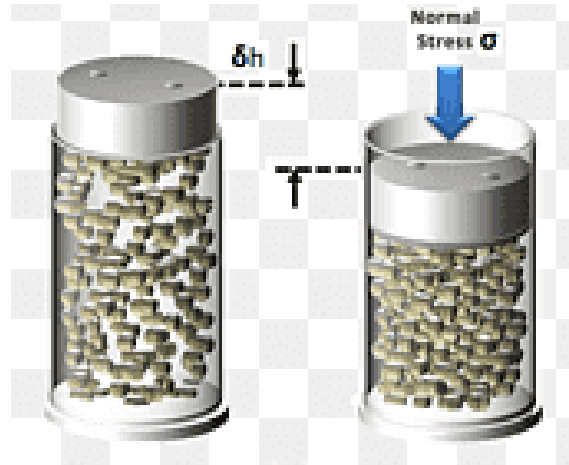
3.2.1 Densidad

Dentro de las medidas de densidad podemos encontrar a la densidad real y a la densidad aparente. La densidad real es el cociente entre la masa de bagazo utilizada y su volumen real, esto quiere decir que el cálculo de volumen tiene que hacerse de tal forma que no existan huecos entre las partículas, llegando a un grado total de compactación entre las mismas. Por su parte, la densidad

aparente es la relación entre la masa y el volumen aparente del producto, en el caso del volumen aparente no existe ningún grado de compactación por lo que este en comparación con el volumen real, será mayor. La figura 19 representa a modo de ejemplo lo que sería la diferencia entre el volumen aparente y el volumen real de un producto.

Figura 19.

Volumen aparente vs volumen real de un producto



Nota. La imagen propuesta representa los dos tipos de volúmenes mencionados anteriormente. El frasco de la izquierda representa el volumen aparente en el cual no existe un grado de compactación en las partículas, por lo que el volumen será mucho mayor en comparación al frasco de la derecha. El frasco opuesto representa el volumen real del producto, se puede observar que las partículas están completamente compactas, no existen huecos o espacios entre ellas por lo que el volumen será menor. Tomado de PNGWING, *Medición de polvo de compresibilidad de densidad aparente*, [En línea], Disponible: <https://www.pngwing.com/es/free-png-ddigc>. [Acceso, sep. 21, 2021].

3.2.2 Densidad real

La densidad real calculada se basa en el método de Ergun para diferentes diámetros de partícula especificado en G. A. Roca Alarcón [34]. Los resultados de sus cálculos arrojaron que para diámetros de partícula entre 0,157mm y 1,595mm la densidad real a partir de la experimentación estaría entre $411,3kg/m^3$ y $123,33kg/m^3$ respectivamente. De igual forma, se presenta una comparación entre el valor experimental y el valor calculado por el modelo (seleccionando el mejor de los 3 modelos encontrados) que para estos mismos datos estarían entre $402,83kg/m^3$ y $113,73kg/m^3$ [34].

3.2.3 Densidad aparente

Por otra parte, la determinación de la densidad aparente se calculó dejando caer cantidades fijas de las diferentes fracciones de bagazo en probetas graduadas de tal forma que se pudiera especificar su volumen. Obtuvieron resultados para los mismos diámetros de partícula (0,157mm y 1,595mm) en los que la densidad aparente osciló en valores entre los 104 kg/m^3 y los 523 kg/m^3 respectivamente [34].

3.2.4 Porosidad

La porosidad nos indica la fracción de espacios vacíos que se encuentran en el bagazo de caña de azúcar, es un valor adimensional que en algunos casos también nos indica la capacidad de un material de absorber líquidos o gases. Para el caso del bagazo de caña de azúcar los valores de la porosidad aumentan con respecto a la disminución del diámetro de partícula, según lo determinado en G. A. Roca Alarcón [34]. Para un diámetro de partícula de 0,157mm se obtiene una porosidad del 0,747, para un diámetro de 0,630mm un valor de 0,603 y para 1,595mm de 0,578. A partir de estos resultados se podría decir que las partículas obtenidas a partir del bagazo de caña de azúcar son bastante porosas y son capaces de absorber diferentes tipos de líquidos o gases.

3.2.5 Esfericidad

Según el modelo obtenido en G. A. Roca Alarcón [34] para la determinación del factor de forma o esfericidad de las partículas de bagazo con diferente diámetro se realizó el respectivo cálculo y se presentan los datos en la tabla 6.

Tabla 6.

Cálculo de la esfericidad a diferentes diámetros de partícula

Diámetro de partícula [mm]	Esfericidad [ϕ]
1,595	0,2316
1,015	0,1268
0,630	0,0671
0,358	0,0316
0,253	0,0199
0,157	0,0105

Nota. Los cálculos presentados en esta tabla se realizaron a partir del modelo calculado en G. A. Roca Alarcón con los diferentes diámetros de partícula que se utilizaron en la misma caracterización. Se obtuvieron valores bastante bajos para la esfericidad especialmente en los diámetros más pequeños. Tomado de G. A. Roca Alarcón, et al., *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: Características físicas*, Universidad de Oriente y Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, 2006.

3.3 Morfología del bagazo de caña de azúcar y de las fibras obtenidas a partir de este

La tabla 7 presenta algunas de las propiedades morfológicas obtenidas a partir de la literatura para las fibras obtenidas a partir del bagazo de caña de azúcar. Algunas propiedades como la longitud promedio, el diámetro promedio, el ancho de la pared y el ancho del lumen. Cabe resaltar que como la tabla se construyó a partir de diversas fuentes, algunos de los valores que no se encontraban dentro de las mismas no fueron especificados. Por otra parte, la figura 20 muestra claramente las propiedades biométricas de las fibras en las que se encuentra el lumen, el ancho de la pared y el ancho de la fibra (Diámetro).

Tabla 7.

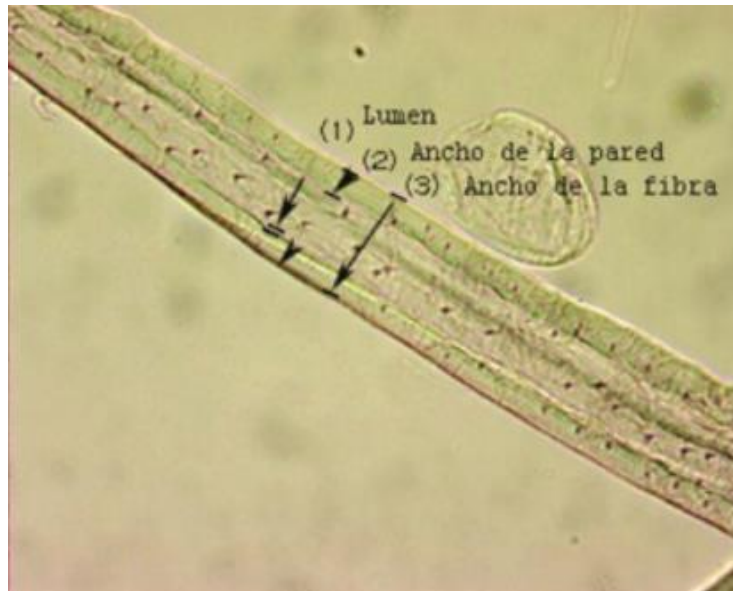
Propiedades morfológicas de las fibras del bagazo de caña de azúcar obtenidas por diversas fuentes bibliográficas

Variedad o fuente	Longitud [mm]	Diámetro [μm]	Ancho pared [μm]	Ancho lumen [μm]
J-60-5	1,13	23	9,9	13,1
B-43-62	1,26	22	11,2	10,8
Mezclas P. Noriega	1,13	22	-	-
Mezclas M. Fajardo	1,52	23	-	-
32-8560 Hawaii	0,81	18	-	-
44-3098 Hawaii	1,07	19	-	-
N. Aguilar Rivera	1,11	-	8,0	10,85
M. Prado Martínez, et al.	1,50	20	4	12

Nota. Los datos recopilados en esta tabla fueron extraídos de diferentes fuentes bibliográficas y la construcción de la tabla terminada fue de elaboración propia. J-60-5, B-43-62, 32-8560 Hawaii y 44-3098 Hawaii hacen referencia a un tipo en específico de bagazo de caña de azúcar no especificado. Tomado de GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*, Cuba, GEPLACEA, 1990, de N. Aguilar Rivera, *Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga*, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Córdoba, México, 2016 y de M. Prado Martínez, et al., *Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta*, Artículo de investigación, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México, 2012.

Figura 20.

Propiedades biométricas de las fibras



Nota. En la imagen se puede apreciar las diferentes partes que componen la fibra de caña de azúcar. El lumen (1), ancho de la pared (2) y ancho de la fibra (3). Tomado de M. Prado Martínez, et al., *Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta*, Artículo de investigación, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México, 2012.

Dentro de su composición morfológica, las fibras del bagazo de caña de azúcar se encuentran divididas en dos partes. Las primeras en el haz vascular son finas, de paredes delgadas con extremos romos o bifurcados y en su superficie presentan ocasionalmente pequeños poros [40].

Las otras ubicadas en la corteza son de mayor longitud, diámetro y presentan paredes gruesas al igual que poros en toda su superficie [37].

Hablando un poco del bagazo de caña de azúcar, en la tabla 8 se encuentra la composición morfológica del bagazo limpio en el que podemos encontrar a la fibra, las células parenquimatosas, segmentos de vasos y la epidermis.

Tabla 8.

Composición morfológica del bagazo limpio

Característica	Composición [%]
Fibra	50
Parenquima	30
Vasos	15
Epidermis	5

Nota. La tabla representa la composición morfológica que se puede encontrar dentro del bagazo de caña de azúcar. Existe abundancia en las células parenquimatosas (especificadas en 8.1.1.) y segmentos de vasos de gran longitud, por su parte las células epidérmicas se caracterizan por presentar bordes irregulares. Tomado de GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*. Cuba. GEPLACEA. 1990.

3.4 Propiedades químicas

Principalmente el bagazo de caña de azúcar está compuesto por polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina, entre otros compuestos que representan un porcentaje bastante menor. La composición química que se encontró fue de un 50% de celulosa, 25% para la lignina y el restante para la hemicelulosa [38].

3.4.1 Celulosa

Es un componente bastante importante de la pared celular de todas las plantas y es uno de los polímeros más abundantes en la biósfera. Su forma es parecida al cabello humano y se encuentra dentro de las fibras vegetales. Es soluble en agua, solventes orgánicos, en soluciones alcalinas y es bastante resistente al efecto de agentes oxidantes lo que la hacen destacar sobremanera de los otros componentes químicos [37] [38].

3.4.2 Hemicelulosa

Las que más abundan son del tipo D-xilanas, sus cadenas poliméricas son relativamente cortas de peso molecular promedio viscosimétrico. Empleada para citar a los polisacáridos extraíbles de las plantas; tiene imposibilidad para disolverse en agua y se hidroliza fácilmente en ácidos [37] [38].

3.4.3 Lignina

Está presente en la mayoría de las plantas vasculares y es producida gracias a la fotosíntesis; considerada como un recurso renovable y bastante utilizada en la industria. Representa un conjunto de polímeros amorfos, reticulados, de alto peso molecular [37] [38].

3.4.4 Humedad

Si bien es cierto, el contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar puede variar dependiendo la velocidad y eficiencia de la molienda, este valor se encuentra entre un promedio del 48% al 50%. En Colombia este porcentaje puede aumentar del 50% al 53% [39].

Existe una diferencia significativa en el contenido de humedad del bagazo en proporciones sustanciosas que, si se calculara este porcentaje en partículas diminutas con un diámetro de partícula variable. El procedimiento para determinar la humedad de las partículas se hace a partir de un secado en una estufa con una muestra de carbón, el procedimiento se realiza hasta que la muestra alcance un peso constante indicando un secado completo. El estudio realizado en E. M. Manals Cutiño [40] arrojó valores que oscilaron entre el 10,26% y el 16,32% de humedad sin tendencia definida para diámetros de partículas que fueron desde los 0,25m hasta los 15,775mm.

3.4.5 Contenido de volátiles

Esta determinación se realiza a partir del calentamiento de una muestra por peso de carbón seco y en ausencia de aire hasta los 900°C hasta que el peso sea constante. El contenido de volátiles especificado en E. M. Manals Cutiño [40] presenta una tendencia a aumentar (aunque no significativamente) cuando el diámetro de partícula aumenta. Por ejemplo, para un diámetro de partícula de 0,25mm hay un porcentaje de sustancias volátiles del 79,25% mientras que, para un diámetro de partícula de 15,775mm el porcentaje aumenta hasta llegar al 82,9%.

3.4.6 Carbono fijo y cenizas

La determinación de esta propiedad (contenido de cenizas) se hace mediante el calentamiento de la muestra hasta que esta adquiera un color rojo, se hace en presencia de aire para que se logre quemar completamente la sustancia combustible hasta que quede un residuo denominado ceniza. Los resultados de E. M. Manals Cutiño [40] demuestran que el contenido de cenizas es inversamente proporcional al diámetro de partícula; mientras que a valores bajos de diámetro hay

un alto contenido de cenizas relativamente (entre 4% y 7%), a valores altos de diámetro de partícula hay un contenido de cenizas reducido (entre 2% y 3,5%).

El contenido de carbono fijo se hace por diferencia de todos los componentes presentes, se restan como porcentajes y teóricamente lo que resta es el contenido o porcentaje de carbono puro o fijo. Sin presentar un comportamiento definido, en E. M. Manals Cutiño [40] se obtuvieron valores que van desde el 12,25% hasta el 16,56% de contenido de carbono presente.

3.5 Propiedades mecánicas

En la literatura no se encuentra mucha información acerca de las diferentes propiedades mecánicas medibles tanto para el bagazo de caña de azúcar como para las fibras, sin embargo, se encontraron valores para el coeficiente de rigidez, el coeficiente de flexibilidad y para la relación de Runkel.

3.5.1 Coeficiente de rigidez

El coeficiente de rigidez es un valor que caracteriza el comportamiento resistente de una estructura, este valor en M. Prado Martínez [41] estuvo en 0,400 para las fibras de bagazo de caña de azúcar lo que implica que la pared de las fibras es de tipo medio al igual que la rigidez.

3.5.2 Coeficiente de flexibilidad

Es una relación porcentual entre el diámetro del lumen y el diámetro de la fibra que caracteriza el comportamiento deformacional de una estructura con un cierto sistema de apoyos sometida a una carga [42] [43]. Para el caso de M. Prado Martínez [41] este coeficiente estuvo en un valor de 0,600, se compara con otros tipos de materiales fibrosos y se determina que es un valor bastante bueno puesto que cuanto menos es la relación largo/ancho, mayor es la flexibilidad de las fibras. Aquellos materiales fibrosos que igualan o sobrepasan este coeficiente de las fibras de bagazo son el *Eucalyptus globulus* (0,527), *Eucalyptus dunnii* (0,592) y la *Clethra mexicana* (0,600) [41].

3.5.3 Relación de Runkel

Es una relación entre el doble del espesor de la pared y el diámetro del lumen de la fibra, es un parámetro que se desarrolla para predecir las propiedades papeleras a través de la morfología de las fibras [42]. Entre menor sea este valor, va a existir una flexibilidad de las fibras mayor y existirá

más posibilidad de producir un papel de buena calidad. En M. Prado Martínez [41] este valor estuvo en 0,660 calificando la calidad de la fibra como buena según la relación de Runkel.

4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL SUSTITUTO

En este capítulo se describió el proceso desde que el bagazo de caña sale del trapiche hasta llegar al proceso planteado. Básicamente la biomasa debe ser acondicionada para poder ser apta para el proceso, por lo cual se necesitará de procesos de limpieza en el que se remuevan materiales particulados impropios del bagazo y también algo de residuos del jugo de caña que pueden afectar el proceso. Después de esto se tendrá que separar del bagazo la corteza de la médula o meollo, ya que en la corteza se encuentran las fibras más resistentes y para finalizar se debe realizar un proceso en donde se disminuya el contenido de lignina que se tiene en las fibras, puesto que estas pueden causar menos adhesión de las fibras en la matriz polimérica, como se explicará posteriormente en el capítulo.

A continuación, cada parte del proceso de acondicionamiento del bagazo se describirá en mayor detalle. Para entrar en contexto se debe mencionar que de acuerdo a la Real Academia Española, el bagazo es el residuo que queda luego de extraer el jugo de la caña de azúcar [44] y para mantener la calidad del producto se debe realizar primero un proceso de limpieza y purificación que, de acuerdo al grupo papelerero mundial SAPPI, consiste en pasar el bagazo por zarandas y un proceso de lavado simple con agua potable para poder extraer las impurezas como arenas o pequeñas piedras [45].

4.1 Secado

La humedad está relacionada con la estabilidad, calidad y composición del bagazo, pueden llegar a influir sobre el embalaje, manipulación y almacenamiento de la muestra, adicionalmente, el control de humedad del bagazo es usado para evitar el crecimiento de microorganismos no deseados [46].

El secado del bagazo de caña de azúcar consiste en reducir el porcentaje de humedad; en la industria azucarera este constituye a un pre-proceso necesario en el mejoramiento de la biomasa para uso como combustible [47]. Según M. R. Muñoz Solares [48] algunas de las consideraciones a tener en cuenta para realizar un adecuado proceso de secado son la velocidad del aire a la entrada, flujo del aire, temperatura inicial del aire, velocidad del aire a la salida, flujo a la salida,

temperatura inicial y final del bagazo de caña de azúcar, humedad inicial del bagazo, humedad final del bagazo y presiones inicial y final del aire.

VARIABLES IMPORTANTES A LA HORA DE REALIZAR EL SECADO ES LA LONGITUD DEL BAGAZO Y LA TEMPERATURA EMPLEADA DURANTE EL PROCESO, J. A. VILLALBA VIDALES Y N. A. DE LA PEÑA [47] REALIZARON EL PROCESO PARA DIFERENTES LONGITUDES DE BAGAZO A DIFERENTES TEMPERATURAS, LOS RESULTADOS DEMUESTRAN QUE, A MAYORES LONGITUDES DE BAGAZO Y MAYORES TEMPERATURAS EMPLEADAS SE TIENEN TASAS DE SECADO ALTAS, SIN EMBARGO, EL TAMAÑO DE LA FIBRA TIENE UNA INFLUENCIA MUCHO MAYOR QUE LA TEMPERATURA, PUESTO QUE, A MENORES LONGITUDES EXISTE UN MENOR FLUJO DE AIRE ENTRE LAS FIBRAS.

EN TÉRMINOS GENERALES, EL SECADO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR SE PUEDE REALIZAR EN ESTUFAS COMO LA ESTUFA SPENCER [46] QUE FAVORECE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ETANOL. SIN EMBARGO, EXISTEN OTRO TIPO DE EQUIPOS QUE SE PUEDEN EMPLEAR EN EL PROCESO DE SECADO COMO EL SECADOR ROTATIVO, SECADOR DE BANDA, SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO Y EL SECADOR VORTIGINOSO [48].

LA TEMPERATURA EMPLEADA PARA REALIZAR EL PROCESO DE SECADO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR RONDA ENTRE LOS 35 A LOS 60°C [47]. EL PROCESO DE SECADO SE DEBE REALIZAR DESPUÉS DEL PROCESO DE LAVADO (EL CUAL ELIMINA GRAN PARTE DE LAS IMPUREZAS QUE CONTIENE EL BAGAZO Y LAS FIBRAS DE ESTE), PUESTO QUE ESTE PROCESO PERMITE ACONDICIONAR EL BAGAZO (REDUCIENDO SU HUMEDAD), PARA LOS PROCESOS POSTERIORES.

4.2 Desmedulado

SEGUIDO DE LA LIMPIEZA DEL BAGAZO, ESTE DEBE SER DIRIGIDO A UN DESMEDULADOR, EL CUAL REALIZA LA EXTRACCIÓN ÓPTIMA DE LAS FIBRAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR; ESTE PROCESO CONSISTE EN EXTRAER LA MÉDULA O MEOLLO QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL BAGAZO CON EL FIN DE OBTENER UNA MAYOR CANTIDAD DE FIBRA ÚTIL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NO TEJIDO MEJORANDO SUS PROPIEDADES DE RESISTENCIA [17].

ADemás, LA MÉDULA O MEOLLO CONTIENE GRANDES CANTIDADES DE TEJIDO PARENQUIMATOSO LO QUE HACE QUE SU PRESENCIA EN DIFERENTES MATERIAS PRIMAS COMPLIQUE EL APROVECHAMIENTO A NIVEL INDUSTRIAL POR LAS SIGUIENTES RAZONES SEGÚN A. I. LICONA AGUILAR [49]:

- Falta de uniformidad en la digestión a causa del heterogéneo tamaño de partículas.

- Elevada capacidad de absorción en comparación una fibra limpia, debido a su gran área superficial y alto nivel de higroscopicidad.
- Alto contenido de cenizas, suciedades, azúcares y tierra coloidal en la médula.
- Por su capacidad de absorción favorece a un ataque intenso de los agentes químicos y por lo tanto un incremento en su consumo.

Actualmente existen 3 tipos diferentes de desmédulado que varían en el contenido de humedad que presenta el bagazo:

4.2.1 Desmedulado en seco

Es un proceso mecánico llevado a cabo en un molino desmedulador de pequeños martillos que se encargan de separar ambas partes del bagazo. Se le llama desmedulado en seco ya que el proceso se lleva a cabo con un porcentaje de humedad del bagazo que va entre el 15% al 20% [17] o del 8% al 25% [49].

4.2.2 Desmedulado en húmedo

Se realiza del mismo modo que el desmedulado en seco, sin embargo se realiza sin la necesidad de un secado previo por lo que presenta una humedad de entre el 48% y el 52% [49].

4.2.3 Desmedulado en suspensión o mojado

El contenido de humedad de bagazo se encuentra entre el 80% y el 90% [17]. Este procedimiento se encarga no solo de retirar la médula, sino que también las impurezas o polvo restante dentro del bagazo y usualmente se utiliza como una segunda forma de desmedulado [17].

Para el desarrollo del procedimiento aquí planteado, se realizará un desmedulado en seco. Este desmédulado no presenta tanta eficiencia en comparación con el desmedulado en húmedo o en suspensión ya que el rendimiento se encuentra dentro de un 30% a 50% [50], sin embargo, es el que más se utiliza en la industria actualmente. En comparación con el desmedulado en húmedo, la fibra y la médula no se separan fácilmente lo que hace que sea más laborioso de tratar, cosa que si pasa en el desmedulado en seco ya que estas se separan casi que automáticamente por caída libre [17].

4.3 Pulpado

Ya obtenido la corteza del bagazo, este se debe de pulpar, este procedimiento es necesario para poder disminuir la cantidad de lignina presente en las fibras previamente obtenidas por medio del desmédulado. La lignina es común de las plantas vasculares y son las que crean tejidos especializados para transportar soluciones acuosas, dan apoyo mecánico y les otorgan la elasticidad y la resistencia a las plantas [50]. Sin embargo, es necesario retirar la lignina ya sea por medios mecánicos o químicos, puesto que esta no permite separar de la forma más adecuada las fibras obtenidas para el proceso posterior.

4.3.1 Pulpado mecánico

A partir de un molido o cortado se logran romper las fibras por medios mecánicos; es mucho más económico que el pulpado químico y su rendimiento puede llegar hasta el 90% [17]. En este procedimiento algunas de las fibras resultan dañadas en sus extremos gracias al esfuerzo mecánico al que son sometidas [51], cosa que no pasa con el pulpado químico. El pulpado mecánico también favorece a la alta proporción de finos que pueden ser hasta de un 50%, son importantes ya que le logran dar una resistencia bastante aceptable a las fibras gracias a su alta superficie específica y su capacidad de establecer puentes entre fibras [51].

Algunas de las limitaciones en el pulpado mecánico según M. Zanuttini [51] son:

- Alto requerimiento energético (1000 a 2500 kW/ton).
- Es aplicable a ciertas materias primas.
- Baja resistencia en relación con las pulpas químicas y semiquímicas.
- Menor permanencia (amarilleo y rigidización por efecto del tiempo).

4.3.2 Pulpado químico

También conocido como tratamiento alcalino o proceso a la soda, es un procedimiento en el cual la fibra se mezcla con una solución de peróxido de hidrógeno alcalino o hidróxido de sodio con el fin de degradar a la lignina, esta se remueve por solubilización y al mismo tiempo aumentan el grado de hidratación de esta [49]. También se pueden agregar sulfatos o sulfitos para la eliminación de bacterias y lignina. El pulpado químico es considerado como uno de los procedimientos más

limpios [17], este no requiere de un consumo energético considerable, se logran obtener un tipo de fibras más largas que en el pulpado mecánico y su resistencia puede ser un poco mayor [52], aunque su costo puede ser bastante más elevado en comparación con el otro expuesto y su rendimiento es aproximadamente del 45% [52].

4.3.3 Elección del método

Se realizó una matriz de selección que se encuentra especificada en la tabla 9. La matriz de selección consistió en seleccionar diferentes tipos de parámetros que se pueden abarcar para los dos tipos de pulpado especificados anteriormente. Se tuvieron en cuenta aspectos como el costo, el rendimiento, la resistencia de la fibra obtenida después del pulpado, el consumo energético durante el proceso, el tamaño de fibra obtenido e impactos ambientales; a cada uno de ellos se le asignó un porcentaje ponderado de acuerdo con nuestras consideraciones y a cada tipo de pulpado se le asignó un a valor determinado siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.

Esta matriz de selección es una adaptación de la matriz de decisión de Stuart Pugh (o matriz de Pugh), que es una herramienta cuantitativa que permite la comparación de diferentes opciones entre sí a través de un arreglo multidimensional, donde se debe identificar los criterios o parámetros a ser evaluados junto con una determinada importancia (filas) y se especifican los procesos en los cuales se puede cumplir o no cada parámetro estipulado (columna) [53]. El método aquí utilizado es una adaptación ya que en el método original se utilizan los valores de +1, -1 y 0 para evaluar las alternativas del proceso [53], mientras que aquí se usara una escala del 1 al 5 como se mencionó anteriormente, porque los valores asignados del método original no son lo suficientemente amplios para poder evaluar cada parámetro establecido.

Tabla 9.*Matriz de selección para el tipo de pulpado a realizar en el proceso*

	Tipo de pulpado	Mecánico	Químico
Parámetro	Ponderado	-	-
Costo	25%	5	3
Rendimiento	15%	4	2
Resistencia de la fibra	25%	2	4
Consumo energético	7%	1	4
Tamaño de fibra	18%	3	4
Impacto ambiental	10%	4	2
Total	100%	3,36	3,25

Nota. La matriz de selección fue de elaboración propia. Se logra evidenciar que ambos tipos de pulpado son buenos para el proceso, sin embargo, el pulpado mecánico presenta resultados más favorables con respecto al pulpado químico según el total obtenido, siendo 3,36 para el pulpado mecánico y 3,25 para el pulpado químico.

Los parámetros que fueron tomados en consideración representan factores que pueden llegar a beneficiar al proceso, logrando obtener un producto de calidad y que no sea tan costoso. Los parámetros que representan un 50% del total hacen referencia al costo y a la resistencia de la fibra con un 25% cada uno; se trata de buscar un producto que logre igualar algunas de las características del cuero animal pero que a su vez sea económico y amigable con el medio ambiente. La resistencia de la fibra ayudará a obtener un sustituto del cuero más rígido y compacto, evitando así que se desgaste antes del tiempo esperado.

Con un 18% para el tamaño de la fibra se lograrán crear telas no tejidas mucho más estables, amplias y versátiles. El rendimiento que representa un 15% nos permite saber qué tipo de proceso es más eficiente que el otro, del mismo modo nos da un aproximado de la cantidad de fibra en un estado óptimo para seguir con el siguiente procedimiento. El impacto ambiental estipulado en un 10% determina qué tipo de pulpado conlleva más daños al medio, por ejemplo, el pulpado químico siempre representará un mayor riesgo puesto que los agentes químicos utilizados pueden llegar a contaminar las aguas y el proceso para su purificación consiste en realizar al menos 3 lavados. Por

último, se tuvo en cuenta el consumo energético con una ponderación del 7%, ya que un mayor gasto energético representa un mayor gasto económico.

Teniendo en cuenta lo anterior se procedió a darle un valor a cada tipo de pulpado considerando cada uno de los parámetros. En primer lugar, el valor para el costo en el pulpado mecánico fue de 5 mientras que en el pulpado químico fue de 3, esto se debe a que el pulpado mecánico solo requiere de un molino o cortador para poder extraer la mayor cantidad de lignina posible por medios mecánicos, por su parte, el pulpado químico requiere de agentes químicos y otro tipo de equipos adicionales para su realización elevando el costo de este.

El puntaje para el rendimiento fue basado en las referencias [52] [17] que indican el porcentaje de rendimiento que cada proceso de pulpado conlleva. Para el caso del pulpado mecánico se llega a obtener un rendimiento del 90% con un el puntaje de 4 y para el pulpado químico con un valor de 2 se llega hasta un rendimiento del 45%.

El pulpado mecánico no favorece a la resistencia ni al tamaño de las fibras debido al esfuerzo mecánico al que son sometidas, pueden llegar a afectar sus extremos y la parte interna de la fibra. Los puntajes determinados, en el primer caso para la resistencia de la fibra fue de 2 para el pulpado mecánico y 4 para el químico, en segundo lugar, el tamaño de la fibra fue de 3 para el pulpado mecánico y 4 para el químico.

El consumo energético aumenta en consideración cuando se realiza un proceso de pulpado mecánico, en cambio, en un pulpado químico el consumo energético es mínimo, siendo los valores del pulpado mecánico de 1 y el pulpado químico de 4. Para terminar con la parte del impacto ambiental, es bastante claro que al realizar un proceso de pulpado químico se hace un mayor uso de agua que en un pulpado mecánico, sin mencionar que estas aguas terminan bastante contaminadas debido a los agentes químicos utilizados en el proceso. Por tanto, los valores determinados fueron de 4 para el pulpado mecánico y 2 para el pulpado químico.

Ya obtenidas las fibras de bagazo, se procede a describir el proceso para la obtención del no tejido y posteriormente al sustituto, para ello a continuación se describirá a mayor detalle los procesos a seguir para lograr el producto terminado.

Cabe resaltar que los valores ponderados asignados para cada parámetro de la matriz de decisión son valores asignados a nuestra consideración teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, ya que en trabajos similares de obtención de sustitutos del cuero a base de fibras naturales, no se especifica que parámetros son más importantes.

4.4 No tejido

El no tejido es un velo o manta que está compuesto de cualquier clase de fibras, formado por acción mecánica (agujas), química (adhesivos) o térmica, estas fibras no necesariamente deben tener un proceso posterior (calada o tricotado) para la formación de hilos o telas, para realizar el velo se ha encontrado a través de la literatura tres métodos, por vía seca, por vía húmeda y por vía fundida, este último forma no tejidos a través de fibras poliméricos que pueden ser fundidas [19], como en este proyecto no se tienen ese tipo de fibras no se entrara a detalle en este método.

4.4.1 Vía seca

Por este método existe dos opciones, el primero es por un medio mecánico (cardado) que le llama “Drylaid” y el segundo método es a través de un medio aerodinámico llamado “Airlaid” [54].

El Drylaid es un método bastante utilizado, debido a que limpia y separa las fibras, además es un método versátil ya que permite utilizar una amplia gama de fibras (mezcla de fibras de diferentes tamaños y longitudes). En términos generales este método consiste en introducir las fibras por medio de un cilindro, el cual las dirige a un tambor que junto a un cilindro con púas desenredan y limpian las fibras, de tal manera que la ordena en sentido paralelo formando así el velo, por último el velo de fibras es desprendido mediante un rodillo peinador [55].

El Airlaid es un método que consiste en dispersar las fibras por medio de un flujo de aire que pasan a través de una banda transportadora a un tambor rotatorio, en el cual se enredan formando así el velo, este método posee ventajas en cuanto a la densidad y suavidad en el velo, pero poseen también desventajas que hacen que el método no sea del todo usado, como que necesita de fibras homogéneas cortas (longitudes de 2 a 6 cm), no forma un velo del todo uniforme (no genera un velo isotrópico) y posee una baja velocidad de producción [56].

Por lo anterior, entre los dos métodos que existen por vía seca para realizar el no tejido, el Drylaid es el más adecuado para este proceso, debido a que la maquinaria y proceso ya está estandarizado en el mercado por lo que el precio y la disponibilidad son asequibles, además que este es el que mejor versatilidad tiene en cuanto al tamaño de la fibras, lo que es favorable para el proyecto ya que al realizar el pulpado puede haber diferencia de tamaño de las fibras, también si se quisiese agregar otro tipo de fibras no presentaría problema alguno.

4.4.2 Vía húmeda

En este método se puede utilizar teóricamente cualquier tipo de fibra, pero se recomienda que sean homogéneas y cortas (2 a 30 mm de longitud), que no sean rizadas y que preferiblemente no procedan de un polímero natural ya que dificulta el enlace entre ellas cuando están en suspensión; se estima que entre el 5% y el 10% de las industrias de no tejidos utilizan este método. El proceso consiste en dispersar las fibras en una solución de agua más un dispersante que ayude a disminuir la tensión superficial del agua, la mezcla debe agitarse antes de agregar las fibras sin que se forme espuma en la superficie, después se agregan las fibras y se continua la agitación, luego se agrega un agente espesante tixotrópico que hará que las fibras se entrelazan entre sí, la mezcla se traslada a otro tanque donde se procede a realizar otra solución con los mismos componentes pero aumentando de 2 a 20 veces el volumen con respecto a la primera, por último el velo formado es secado y después fijado por una solución de agua y agente ligante (látex), este método también es utilizado en la industria de la fabricación del papel [54] [56].

4.4.3 Elección de método

Para realizar la selección del método para realizar un no tejido, se procede a utilizar una adaptación de la matriz de decisión Pugh como se realizó anteriormente para la elección del método de pulpado.

Tabla 10.

Matriz de selección para el tipo de método para la formación del velo a realizar en el proceso

	<i>Método para formar el velo</i>	<i>Vía seca</i>	<i>Vía húmeda</i>
Especificación	Ponderado	-	-
Versatilidad	30%	5	3
Impacto Ambiental	20%	4	2
Costos	25%	4	3
Consumo energético	15%	3	3
Tiempo de retención	5%	3	2
Total	100%	3,90	2,60

Nota. La matriz de selección fue de elaboración propia. Se logra evidenciar que ambos tipos de métodos son posible para utilizar en el proceso, sin embargo, el realizado por vía seca presenta resultados más favorables con respecto al que se realiza por vía húmeda, según el total obtenido, siendo 3,90 para la vía seca y 2,60 para la vía húmeda.

Se realizó una matriz de selección especificada en la tabla 10, esta consistió en seleccionar diferentes tipos de parámetros que se pueden abarcar para los dos tipos de métodos de formación del velo del no tejido, para ello se tuvieron en cuenta aspectos como la versatilidad del proceso, costo, impacto ambiental, entre otros; a cada uno de ellos se le asignó un porcentaje ponderado de acuerdo con nuestras consideraciones y a cada tipo de método se le asignó un a valor determinado siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.

Los parámetros considerandos anteriormente tienen un determinado peso asignado a nuestra consideración, siendo el del mayor peso la versatilidad del método con un 30%, esto se debe a que es un proceso llevado a nivel teórico, no se sabe con seguridad el tamaño de las fibras obtenidas del proceso de pulpado, por lo tanto se necesitara de un método que permita procesar distintos tamaños de fibras; seguido a ello se tiene el factor del costo, ya que es de vital importancia cuando se lleva a cabo un proceso, debido a que puede llegar a ser un proceso de gran dificultad y esto puede cambiar el costo del producto terminado; también se tiene el factor ambiental, que es un

parámetro que debe estar presente en todos los procesos debido a la emergencia medioambiental en la que estamos viviendo, ligado a este parámetro se encuentra el consumo energético, que también está asociado con los costos, y por último el tiempo de retención de cada método, que se puede dar si necesitan de mayor procesamiento y/o maquinaria para realizar la operación de formación del velo no tejido.

En cuanto a la versatilidad, el método por vía seca (cardado) es el que lleva la ventaja, no solo permite procesar distintos tamaños de fibras sino también diferentes tipos de fibras lo que le da flexibilidad al proceso, en cambio el método por vía húmeda necesita una fibra corta para su procesamiento. Respecto al costo, el método de vía seca se lleva el mayor puntaje también, esto se debe a que es un método con menor dificultad al necesitar de solo una máquina, mientras que el de vía húmeda necesita de dos tanques en donde se pueda llevar a cabo la suspensión, aditivos químicos, equipos de transporte de un tanque a otro y un filtro que retire la solución restante del velo de fibras.

Acerca del factor de impacto ambiental, el método por vía seca también lleva el mejor puntaje debido a que en comparación con el otro método no necesita de grandes cantidades de agua, la cual debe ser posteriormente tratada para su vertimiento seguro, aumentando también costos. En relación al consumo energético, ambos métodos tienen igual puntaje ya que ambos necesitan de un consumo de energía constante, ya sea por la carda en el método por vía seca, o por los agitadores de la vía húmeda.

El parámetro final es el tiempo de retención, en donde el método por vía seca lleva la delantera, ya que la carda entrega el velo en un tiempo más corto en contraste con el método de vía húmeda que necesita que las fibras estén sumergidas y agitadas en dos tanques hasta que cohesionen. Por ende, teniendo en cuenta todo lo antes mencionado el método que más se acomoda al proceso es el de vía seca.

Cabe resaltar que los valores ponderados asignados para cada parámetro de la matriz de decisión son valores asignados a nuestra consideración teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, ya que en trabajos similares de obtención de sustitutos del cuero a base de fibras naturales, no se especifica que parámetros son más importantes.

4.5 Fijación del no tejido

La fijación es un proceso fundamental para determinar las propiedades mecánicas como lo pueden ser la flexibilidad y porosidad del velo obtenido [57], consiste en endurecer o plasmar el velo de forma tal que las fibras no se suelten o se pierdan del no tejido, ya que algunas fibras pueden no quedar completamente enredadas, además le proporciona estabilidad al velo. Esta etapa puede estar separada o continua dentro del proceso global, aunque suele ser continua si hay grandes volúmenes de producción. Según Grethel Iturralde en su página web Fashion, Technology & Innovation, en general existen tres procesos que pueden utilizarse para la fijación de un no tejido, existe el método químico, método térmico y el método mecánico.

4.5.1 Método químico

Es uno de los métodos más empleados, consiste en utilizar resinas químicas para fijar. Los fijadores más utilizados son polivinílicos, policloruro de vinilo, estireno, látex, poliacrilato y resina de butadieno; la elección de la resina está en función del proceso y características que tenga el proceso, se debe elegir según las necesidades (asequibilidad, economía y fácil aplicación). El fijador puede ser empleado mediante saturación, rociador, impregnación y espuma [58].

4.5.2 Método térmico

O también conocida como termo-fusión, esta técnica utiliza calor para fijar o estabilizar la estructura del velo por lo que es necesario que las fibras que componen los velos tengan la propiedad de punto de reblandecimiento o temperatura de anillo y bola (temperatura a la cual el producto alcanza una determinada consistencia en las condiciones normalizadas [59]), por ende esta técnica solo es viable para las fibras de tipo sintéticas, ya que estas que poseen la propiedad de que al reblandecerse se active el adhesivo que traen por su estructura química natural [58].

4.5.3 Método mecánico

La fijación mecánica se puede clasificar en tres métodos, lo cuales son, fijación con perforación (punzonado o needle punching), bondeado por costura o stitch bonding y mediante el hidroentrelazamiento o hidroenredo.

- Fijado por perforación mediante agujas: Este proceso consiste en perforar el velo de fibras, haciendo que estas se enreden entre sí mediante unas agujas punzonadoras colocadas en un orden no alineado. Cuanto más penetran las agujas en el velo de fibras, este se hará más denso y fuerte, pero si este punzonado es demasiado excesivo puede causar daños al velo de fibras [58].
- Fijado por costura (Stitchbonding): También se le conoce como Stitchbonding, tiene similitud al punzonado, ya que también utiliza agujas para fijar, la diferencia es que el velo de fibras se hace pasar por una serie de agujas que están distribuidas en filas, que van haciendo costuras rectas a lo largo de todo el velo utilizando o no hilos provenientes del mismo formando así las costuras; el no tejido se vuelve resistente, pero puede tender a rasgarse [58].
- Fijado por Hidroenredo: Este proceso se basa en aprovechar la fuerza de un fluido para entrelazar las fibras que se encuentran fuera del velo, a través de chorros finos de agua que lo atraviesan y lo golpean a alta presión, mientras este es transportado por medio de una banda transportadora. Esta técnica le confiere al no tejido una propiedad isotrópica y por lo general esta técnica de fijación está indicada para no tejidos utilizados en áreas de higiene, belleza, único uso, automoción y médico- sanitario, entre otras [60].

Los tres métodos antes descritos nos dan una visión general de las maneras en las cuales se puede fijar el velo del no tejido, sin embargo, para la obtención del sustituto se evidencio por medio de la revisión bibliográfica que el método más viable es el fijado mecánico por medio de perforaciones por agujas (punzonado), el cual es el método utilizado por por A. Castro y F. Contreras [17], N. Bonilla [19], F. Preciado y G. Díaz [61], sobre todo se prefirió este método debido a que lo sugiere Castro y Contreras en donde realizan un sustituto a partir de la misma materia prima aquí utilizada (bagazo de caña de azúcar).

El punzonado está basado en el uso de una placa con agujas que contienen varabas o púas, las cuales penetran en el velo de fibras entrelazándolas entre sí, pasando de una orientación horizontal a una orientación vertical (o de manera ascendente o descendente) [62], en donde la estructura se mantiene unida a partir de fuerzas de fricción [63]; en este método se puede controlar la densidad, fuerza y función del no tejido modificando la profundidad de penetración de la aguja, el número de aguja y otros elementos físicos. [62].

Este método permite utilizar cualquier tipo de fibras (naturales, artificiales o sintéticas), siempre y cuando posean una longitud y flexibilidad apreciable. La calidad del no tejido que se obtiene por este método depende de cómo se encuentren dispuestas las fibras en el velo, si las fibras se encuentran en posiciones al azar, el no tejido tendrá poca resistencia, pero si las fibras del velo están posicionadas en un sentido longitudinal, el no tejido tendrá buena resistencia en ese sentido pero mala resistencia a lo ancho del mismo, lo mismo ocurre si se cambia la posición de las fibras en el velo a vertical, entonces el no tejido tendrá mayor resistencia en el sentido del ancho y mala resistencia en el sentido longitudinal. Por ende lo recomendado es que el velo de fibras contenga capas alternadas en el sentido horizontal y vertical para obtener una buena resistencia en ambos sentidos [63].

Para realizar este procedimiento se debe tener en cuenta variables como el diámetro de la fibra, que es el valor derivado de la densidad y la finura de la fibra; cantidad de fibras por unidad de área; diámetro de la aguja, que determina el espacio requerido por las púas para transportar la fibra, esto dependerá de la finura de la fibra, ya que las fibras más gruesas requieren de agujas más gruesas necesitando así el número de calibre más pequeño, mientras que las fibras finas requieran de agujas más delgadas, por consiguiente el número de calibre más alto; la profundidad de penetración, es cuanto penetra la punta de la aguja sobre el velo; y por último la densidad de costura, permite saber el número de penetraciones o espacios huecos que quedan en el velo, también se puede conocer el tamaño de este [62].

Las características de los no tejidos punzonados más relevantes la relación fuerza- elongación, el grado de compresión del fieltro, y las características de permeabilidad. Si se utiliza fibras largas se puede obtener un no tejido más resistente y de mayor densidad, en cambio si se usa fibras cortas, se puede obtener un no tejido con menos grosor y un grado menor de permeabilidad al aire (necesitará de agujas más finas para poder lograr una mejor resistencia). Estas características también dependerán del rizo que presente la fibra, si presenta mayor rizo, existirá una mayor resistencia al desgarre y elongación. La estructura de la banda y la masa del área son también fundamentales [62].

Los no tejidos punzonados tienen varias aplicaciones, como lo pueden ser en áreas como los geotextiles, vehículos, filtros, ropa, etc., pero el uso que más llama la atención, que es útil para la

elección del método de punzonado es que pueden utilizarse en el área del cuero sintético, específicamente en la industria del calzado, tapicería, maletas, bolsas, artículos de deporte, entre otros [64].

4.6 Obtención del sustituto

A esta etapa del proceso también se le puede denominar acabado del no tejido, este acabado puede ser perforado, el cual se logra por medio de agujas y dependiendo del tipo de agujas se puede ver diferentes tipos de perforados; puede tener un acabado termolijado, en donde el no tejido pasa a través de unos rodillos que le otorgan relieves o simplemente lo alisa; y esta el acabado resinado, el cual forma una superficie lisa sobre el no tejido [19], este acabado no debe ser diferenciado de los métodos de fijación del no tejido, ya que este tiene como función otorgarle otras propiedades al no tejido más no tiene como objetivo fijar las fibras del no tejido.

El acabado por medio de resinas, es el más apropiado para el proceso aquí planteado, ya que si se asimila con el proceso de la fabricación del cuero sintético, las resinas son las encargadas de darle la apariencia de imitación cuero. Este acabado utiliza resinas o aglutinantes químicos, anteriormente se utilizaban resinas naturales y pegamentos, pero estos no cumplían con las características estructurales requeridas (bajo rendimiento) para su utilización [19].

En este paso la aplicación de aglutinantes o resinas adecuadas es de mucha importancia, debido a que se puede lograr características mejoradas en el material, como lo son la resistencia (calor, luz, envejecimiento, sustancias químicas, etc.), suavidad, firmeza, durabilidad, rigidez, flexibilidad, estabilidad del color, hidrofobicidad, entre otras propiedades. Las características que se requieran para el material, dependerán del uso final que se le dé, y por ende el aglutinante usado pueden variar [18].

Para seleccionar un aglutinante o resina se sabe por la experiencia que es mejor que esta sea de índole sintético que natural, ya que es el más utilizado a nivel comercial como por ejemplo, uno de los primeros aglutinantes sintéticos fue el acetato de polivinilo que le daba al material mejores propiedades adhesivas y mecánicas en comparación a aglutinantes naturales [19].

Pero para poder darle el acabado deseado al no tejido, y que este se vea como un sustituto del cuero se debe tener en cuenta que la selección del aglutinante no es únicamente de un solo producto, es

decir, como se tiene una base (no tejido), primero debe escogerse una resina unitaria que permita llenar la superficie de la base, formando así una película en donde se puede adherir con mayor facilidad otros productos que determinaran el acabado del sustituto, estas resinas generalmente pueden ser acrílicas o de uretano.

Después de tener como tal el sustituto, se procede a darle el acabado deseado, este acabado dependerá del uso que se le quiera dar, ya que, si este sustituto es destinado a tapicería o a calzado o a marroquinería, entre otras, las resinas para otorgarle las propiedades necesarias cambiarán, ya que no para todos los usos se necesita de la misma flexibilidad, rigidez y resistencia; para darle este acabado puede usarse resinas individuales acrílicas, de poliuretano, PVC, entre otras, pero también puede usarse un producto denominado compacto, el cual es una mezcla de varias resinas específicas que otorgan más de una propiedad al material. También cuando se habla de acabado, se puede referir a la textura, color y apariencia del material, el cual se logra adicionando a las resinas o compactos a utilizar pigmento y diferentes aditivos o auxiliares, que le dan una apariencia de color, brillo, matificación, efectos, tacto, entre otras características al material.

Con relación a lo anterior, el acabado también debe fijarse para que este pueda perdurar a través del tiempo con las mismas características, para ello puede utilizarse una laca o una resina TOP. Por otra parte, según la práctica, se ha demostrado que para cada etapa de acabado mencionada, estas pueden ser diluidas o no con agua o alcohol, sobre todo cuando se aplica la resina que funciona como base de los acabados; se diluye con el fin de obtener una viscosidad adecuada, y la viscosidad la determina la maquinaria que se esté utilizando para aplicar las resinas.

En cuanto a la obtención de estos productos en Colombia, se indaga que empresas podrían comercializar este tipo de resinas, pigmentos y aditivos, a lo cual se encontró que empresas como Andercol y Colorquímica, tiene en su portafolio varios tipos de resinas acrílicas, uretánicas, polivinílicas, entre otras destinadas a usos de acabado textiles; también la empresa Archroma tiene en su portafolio pigmentos y una resina acrílica específica que da en un solo producto el efecto tipo cuero; en cuanto a resinas, pigmentos y aditivos la empresa PielColor ofrece un amplio catálogo, aunque esta empresa tiene un enfoque hacia el acabado del cuero.

En cuanto al catálogo más completo encontrado, se tiene el catálogo proporcionado por PielColor [65], en donde podría utilizar resinas uretánicas como la 1020 UR o también podría

utilizarse una resina acrílica como el 2007 RE, las cuales son utilizados para fondos debido a que poseen buena adherencia y flexibilidad; en cuanto al acabado puede usarse distintos compactos como el 2819 CP que proporciona resistencia a la luz y gran cobertura, también se puede usar el 2844 CP que proporciona buena resistencia a las flexiones, este compactante debe mezclarse con el pigmento que se requiera para lograr el acabado; para fijar el acabado puede utilizarse lacas como la 6022 LA que otorga buena solidez a los frotos.

Acerca de cómo aplicar estos productos, es decir, si necesitan ser disueltas o ser aplicadas directamente, lo determinara el tipo de acabado que se necesite, la aplicación y la maquinaria a utilizar. Si necesita una mezcla de baja viscosidad, se debe diluir, pongamos por caso un uso comercial en donde se puede utilizar una mezcla de fondo de 1 kg, la cual consta de 300 gr de resina, 100 gr de alcohol y 600 gr de agua, por otro lado si se necesita diluir el producto compactante, puede utilizar por cada kilogramos de mezcla de acabado 700 gr es compacto, 100 gr de pigmento y los restante de agua.

4.6.1 Métodos para la aplicación de la resina

Según M. Kannadaguli y R. Kotra [18], existen cuatro métodos para la aplicación de la resina sobre un no tejido, los cuales son: saturación, unión mediante espuma, spray bonding y print bonding.

El método de saturación se utiliza cuando se necesita de una aplicación rápida de aglutinante y también para aplicaciones donde se requiera un material con resistencia, rigidez, y la máxima encapsulación de la fibra, tales como tejidos de soporte. Los niveles de adición de aglutinante pueden ir desde el 20% a 60%, el secado del aglutinante en este método se lleva a cabo en cámaras de secado. Es un método simple que permite tener un material resistente a la tracción, pero también puede presentar complicaciones en tanto al acabado, ya que la suavidad dependerá de la proporción de aglutinante [18].

El método por unión mediante espuma, hace uso del aire y del agua como diluyente del aglutinante, la espuma se genera a partir de la introducción de aire en el aglutinante mientras es agitado mecánicamente. El método tiene como inconveniente formar la espuma de forma adecuada, pero

necesita de menos consumo energético en el proceso de secado, ya que hay menos migración de aglutinante [18].

El tercer método es el spray bonding, el cual consiste en rociar el aglutinante sobre el no tejido que se encuentra en movimiento, puede realizarse a presión atmosférica, presión hidráulica o por una fuerza centrífuga; en este método se forman finas gotas sobre el material a través de un sistema de boquillas que hacen que la distribución del aglutinante sea uniforme, el proceso de rociado puede hacerse más de dos veces siempre y cuando cada ciclo sea de rociado y secado (con el fin de eliminar el agua restante y fijar el aglutinante) [18].

El último método es el print bonding que se basa en aplicar aglutinante solamente en áreas específicas del no tejido, puede tratarse como un segundo acabado, ya que está diseñado para mejorar la resistencia, el transporte de fluidos, la suavidad, el tacto y el drapeado; en este método se utiliza rodillos de grabado, donde los niveles de adición de aglutinante dependen del área grabada y la profundidad. El secado y el fijado se llevan a cabo en tambores calentados con vapor, la principal ventaja de este método es que se puede lograr una buena suavidad con una resistencia adecuada [18].

Para escoger una técnica de aplicación de resinas se descartan dos métodos, los cuales son unión mediante espuma y print bonding, ya que en el primero debe especificarse la condiciones de la espuma y estas dependerán de las propiedades fisicoquímicas de la mezcla de resinas y la puesta en práctica, el segundo método no es viable como primera opción de aplicación. Por lo que el método de saturación y el método de spray bonding serían los más factibles; para el caso de la elaboración del sustituto se escoge el método que permita un proceso flexible, en el cual si es necesario no presente dificultades, también si es necesario una reaplicación para llegar al acabado deseado (de cobertura, llenura, textura), además, este método es una adaptación a lo que se usa en la industria de acabado de cuero y fabricación del cuero sintético.

Ya aplicada la mezcla de resinas para otorgarle acabado al material, esta debe pasar por el proceso de secado o fijación, este proceso puede realizarse de dos maneras, la primera consiste en un secado al ambiente, en donde se espera hasta que la mezcla deje de estar líquida, el segundo método consiste en pasar el material resinado a un túnel de secado donde la fijación de la resina es mucho más rápida, por lo que se recomienda su uso cuando la mezcla esta diluida (el agua se evaporara

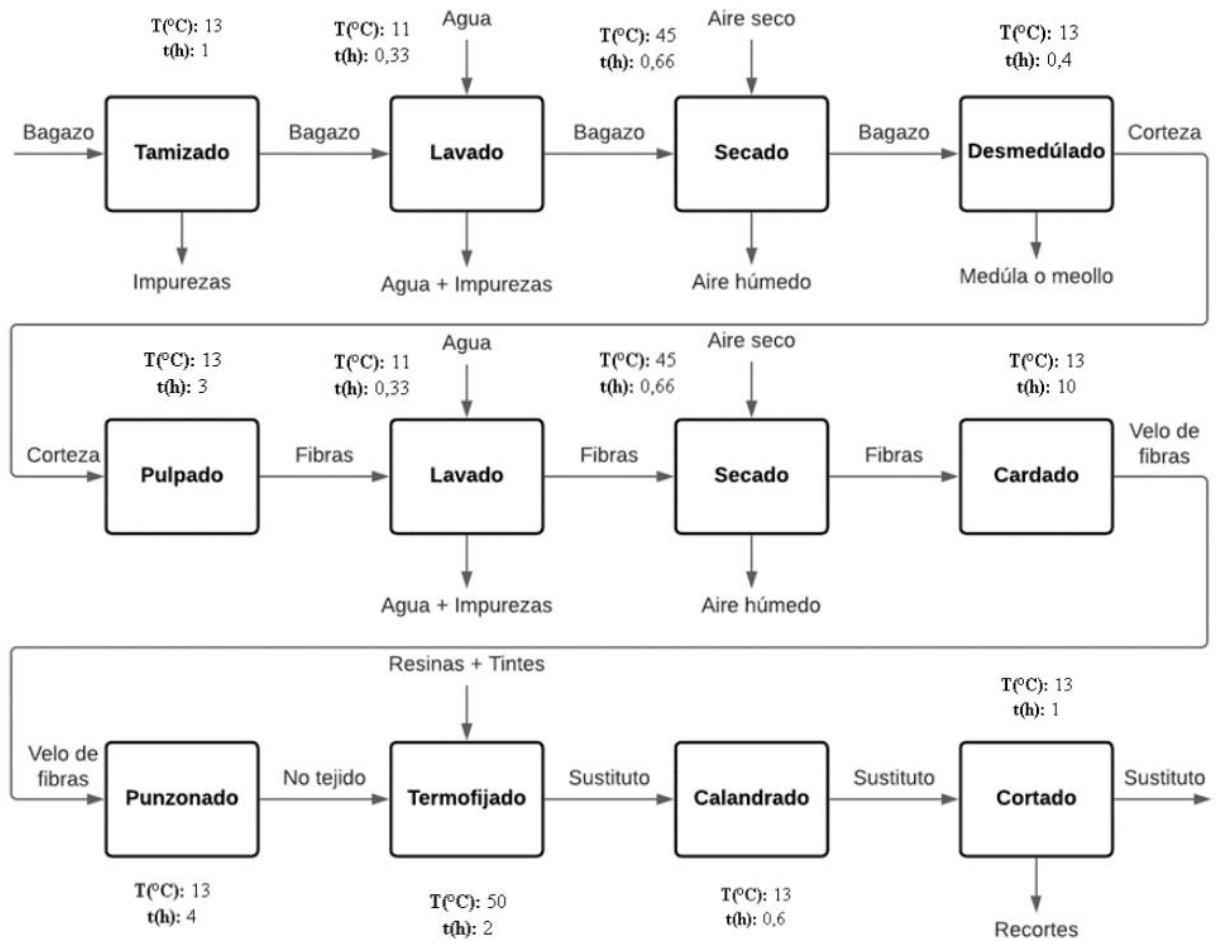
rápidamente) y cuando se necesita de una producción constante. Después de que las resinas estén fijadas el material debe pasar por un proceso de calandrado en donde se compacta y enrolla el material, por último se tiene el proceso de corte, pero este puede ser o no utilizado dependiendo de la aplicación, por ejemplo si necesita un ancho específico de material se cortará.

4.7 Diagramas del proceso

A continuación, se ilustra el proceso anteriormente planteado para la elaboración del sustituto del cuero a partir de fibras del bagazo de caña de azúcar, en la figura 21 se observa el diagrama de bloques (BFD) propuesto para el proceso, mientras que en la figura 22 se observa el diagrama de flujo de proceso (PFD), en donde se puede ver a detalle los equipos y condiciones de operación para cada parte del proceso propuesto en este documento.

Figura 21.

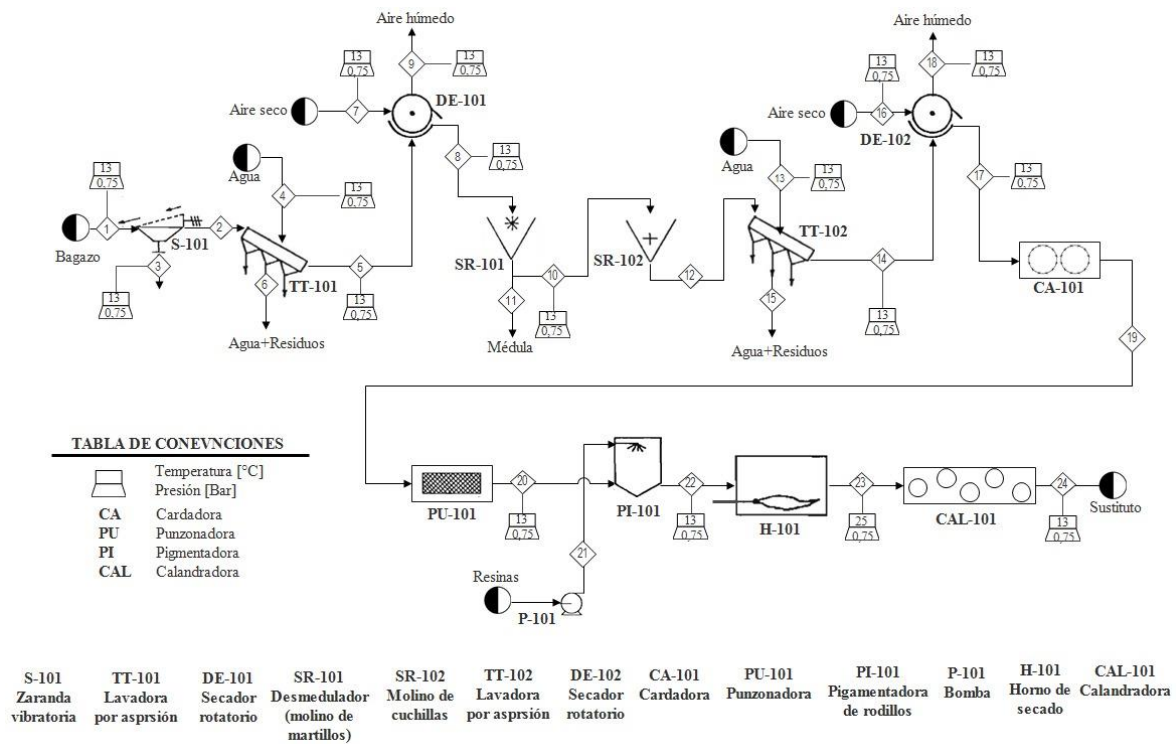
Diagrama de bloques



Nota. Diagrama de bloques para la obtención de un sustituto del cuero a partir de las fibras de bagazo de caña de azúcar, en este se observa cada operación con sus respectivas corrientes de entradas y salidas, así como la temperatura empleada y el tiempo de retención estimado.

Figura 22.

Diagrama de flujo de proceso



Nota. Diagrama de proceso para la obtención de un sustituto del cuero a partir de las fibras de bagazo de caña de azúcar, en este se observa cada operación con sus respectivas corrientes de entradas y salidas, así como la especificación de los equipos a utilizar y las condiciones de operación.

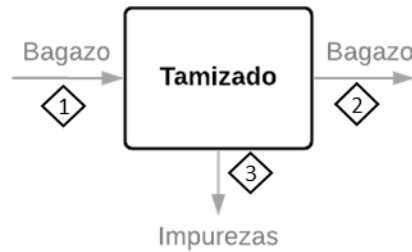
4.8 Balance de masa

Para realizar el respectivo balance de masa se tuvo que asumir una base de cálculo, esta se escogió considerando el escalamiento de una planta piloto y también teniendo en cuenta que en Colombia, la caña de azúcar representa el segundo cultivo con la mayor extensión; aproximadamente los ingenios azucareros producen cerca de 6 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar [66], por lo que tener la cantidad específica de bagazo de un sector o trapiche específico es un dato con poca confiabilidad. La base de cálculo tomada para los cálculos es de 75,5 kg/h de bagazo de caña de azúcar (lo que equivaldría a procesar una tonelada de corteza de bagazo de caña por día), a continuación, se describirá el balance de masa por cada operación unitaria utilizada en el proceso, junto con las consideraciones propuestas para resolver el mismo.

La primera operación que se lleva a cabo es el tamizado, en donde por la corriente uno (1) entra el bagazo, por la corriente dos (2) sale el bagazo y por la corriente tres (3) salen las impurezas que este pueda traer, lo anterior se puede observar a través de la figura 23.

Figura 23.

Operación unitaria, tamizado



Nota. Representación gráfica del proceso de tamizado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Para este caso se tiene en consideración que durante el procesado en la unidad no se tiene ninguna pérdida de materia; para determinar la cantidad de impurezas que salen en la corriente tres (3), se basó en el balance de masa realizado por A. Castro y F. Contreras [17], el cual se estima en un 2% de la corriente de entrada de bagazo. Por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso y solución de la ecuación 1 que se muestra a continuación.

Ecuación 1.

Balance de masa global para la unidad de tamizado

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

Aplicando lo estimado $75,5 \frac{kg}{h} = \dot{m}_2 + 2\% * \dot{m}_1$

$$75,5 \frac{kg}{h} = \dot{m}_2 + 2\% * (75,5 \frac{kg}{h})$$

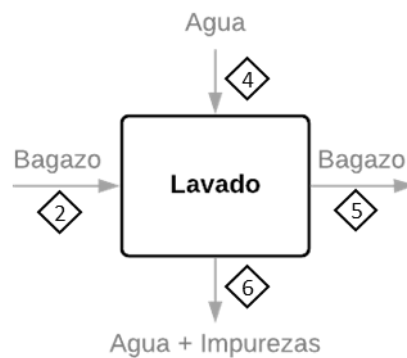
$$75,5 \frac{kg}{h} = \dot{m}_2 + 1,5 \frac{kg}{h}$$

Resolviendo $\dot{m}_2 = 75,5 \frac{kg}{h} - 1,5 \frac{kg}{h} = 73,9 \frac{kg}{h}$

La segunda operación que se realiza es el lavado, en esta la corriente dos (2) que representa el bagazo, este es puesto en contacto con la corriente cuatro (4) que es agua pura, por la corriente cinco (5) saldrá el bagazo ya lavado, mientras que en la corriente seis (6) saldrá la corriente de agua junto con algunas impurezas restantes provenientes del bagazo (pero al no tener un dato aproximada de impurezas, estas no se tendrán en cuenta para el balance), lo anterior se puede observar a través de la figura 24.

Figura 24.

Operación unitaria, lavado



Nota. Representación gráfica del proceso de lavado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

En la etapa de lavado, se tiene en cuenta que el bagazo contiene una humedad de 2,15% p/p, que es lo que reporta A. Troche [67], este al entrar en contacto con el agua retiene cierta cantidad de ella, como no se tiene el resultado experimental de cuanto se retiene en el proceso se asume que esta puede llegar a alcanzar una humedad absoluta de 50 kg vapor de agua/kg aire seco, según lo especificado por A. Liconá [49], que es el promedio de lo que podría tener de humedad el bagazo antes de pasar al proceso de desmédulado.

También se considera en esta etapa que la cantidad de agua que se necesita para realizar el proceso es de 1 litro de agua por cada kilogramos de bagazo ($1 \text{ L}_{\text{Agua}}/\text{kg}_{\text{Bagazo}}$), según lo realizado por A. Castro y F. Contreras [17], por lo que se toma el dato de la densidad del agua a la temperatura ambiente promedio de Bogotá, esta es de 13 °C aproximadamente [68], dando así una densidad de 0,9994 kg/L [69], para así determinar el flujo másico de entrada de agua. Por lo cual ya se tienen todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace

uso de la ecuación 2, 3 y 4 que se muestran a continuación, resaltando que estas pueden ser resueltas análogamente como la ecuación 1.

Ecuación 2.

Balance de masa global para la unidad de lavado No. 1

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6$$

Ecuación 3.

Balance de masa por componente (bagazo), lavado No. 1

$$x_B^2 * \dot{m}_2 + x_B^4 * \dot{m}_4 = x_B^5 * \dot{m}_5 + x_B^6 * \dot{m}_6$$

Ecuación 4.

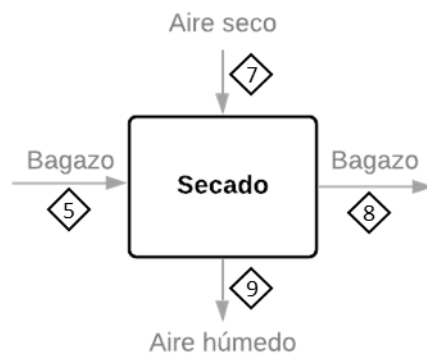
Balance de masa por componente (agua), lavado No. 1

$$x_A^2 * \dot{m}_2 + x_A^4 * \dot{m}_4 = x_A^5 * \dot{m}_5 + x_A^6 * \dot{m}_6$$

El tercer proceso es el secado, en esta la corriente cinco (5) de bagazo mojado, entra en contacto con la corriente siete (7) de aire seco; por la corriente ocho (8) sale el bagazo seco y la corriente nueve (9) corresponde al aire húmedo que resulta después del proceso, lo anterior se puede observar a través de la figura 25.

Figura 25.

Operación unitaria, secado



Nota. Representación gráfica del proceso de secado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Para esta operación se tiene en consideración que el bagazo debe salir con una humedad absoluta de 16 kg vapor de agua/kg aire seco, según lo especificado por A. Licona [49] con el fin de continuar con la siguiente operación; para estimar la cantidad de aire requerido en la operación, se considera que el aire húmedo que sale de la operación está saturado a la temperatura ambiente de Bogotá (13 °C), este valor se puede obtener a través de la carta psicométrica o también por medio de una calculadora, para este caso el valor de humedad absoluta cuando el aire está saturado es 0,0932 kg vapor de agua/kg aire seco [70]. Por lo cual ya se tienen todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 5, 6, 7 y 8 que se muestran a continuación, resaltando que estas pueden ser resueltas análogamente como la ecuación 1.

Los cálculos para esta unidad e proceso se especificaran más a detalle en el Anexo 1, en donde también se observa el balance de energía debido a que esta operación es de gran importancia para el proceso y para el área de ingeniería química.

Ecuación 5.

Balance de masa global para la unidad de secado No. 1

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9$$

Ecuación 6.

Balance de masa por componente (bagazo), secado No. 1

$$x_B^5 * \dot{m}_5 + x_B^7 * \dot{m}_7 = x_B^8 * \dot{m}_8 + x_B^9 * \dot{m}_9$$

Ecuación 7.

Balance de masa por componente (agua), secado No. 1

$$x_A^5 * \dot{m}_5 + x_A^7 * \dot{m}_7 = x_A^8 * \dot{m}_8 + x_A^9 * \dot{m}_9$$

Ecuación 8.

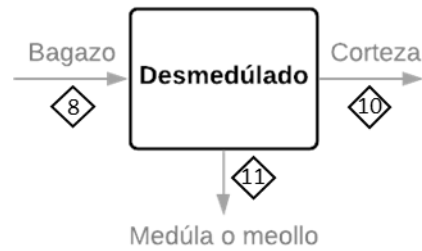
Balance de masa por componente (aire), secado No. 1

$$x_{Air}^5 * \dot{m}_5 + x_{Air}^7 * \dot{m}_7 = x_{Air}^8 * \dot{m}_8 + x_{Air}^9 * \dot{m}_9$$

El siguiente proceso es el desmédulado, en el cual entra la corriente ocho (8) de bagazo seco y sale la corriente diez (10) que corresponde a la corteza y materia prima del proceso como tal, también sale la corriente once (11) que corresponde a la médula del bagazo, lo anterior se puede observar a través de la figura 26.

Figura 26.

Operación unitaria, desmedulado



Nota. Representación gráfica del proceso de desmedulado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

En este proceso se considera que el porcentaje de médula que contiene el bagazo es de aproximadamente un 36% de todo el bagazo según lo reportado por N. Aguilar [71]. Por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 9 que se muestra a continuación, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Ecuación 9.

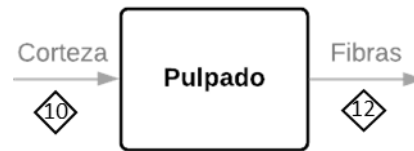
Balance de masa global para la unidad de demedulado

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_{10} + \dot{m}_{11}$$

Ya obtenida la corteza, se prosigue a realizar el proceso de pulpado, en el cual entra la corteza en la corriente diez (10) y sale en forma de fibras por la corriente doce (12), lo anterior se puede observar a través de la figura 27. Para este proceso se considera que no existe ninguna pérdida durante el procesado del material, por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 10 para darle solución, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Figura 27.

Operación unitaria, pulpado



Nota. Representación gráfica del proceso de pulpado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Ecuación 10.

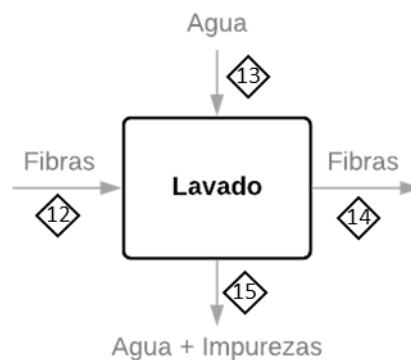
Balace de masa global para la unidad de pulpado

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{12}$$

Obtenidas las fibras, estas se deben de volver a lavar, por ende la fibras entran por la corriente doce (12) junto con el agua en la corriente trece (13), las fibras limpias saldrán por la corriente catorce (14) y por la corriente quince (15) saldrá el agua junto con algunas impurezas restantes (pero al no tener un dato aproximada de impurezas, estas no se tendrán en cuenta para el balance), lo anterior se puede observar a través de la figura 28.

Figura 28.

Operación unitaria, lavado No. 2



Nota. Representación gráfica del proceso de lavado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

En la etapa de lavado, se tiene en cuenta que las fibras contienen una humedad de 0,16 kg vapor de agua/kg aire seco, que se supondrá permanece contante desde el proceso de secando anterior hasta esta

etapa, este al entrar en contacto con el agua retiene cierta cantidad de ella, como no se tiene el resultado experimental de cuanto se retiene en el proceso se asume que esta puede llegar a alcanzar una humedad absoluta de 50 kg vapor de agua/kg aire seco, según lo especificado por A. Licona [49], que es el promedio de lo que podría llegar a tener de humedad.

También se considera en esta etapa que la cantidad de agua que se necesita para realizar el proceso es de 1 litro de agua por cada kilogramo de bagazo (1 L Agua/kg Bagazo), según lo realizado por A. Castro y F. Contreras [17], por lo que se toma el dato de la densidad del agua a la temperatura ambiente promedio de Bogotá, esta es de 13 °C aproximadamente [68], dando así una densidad de 0,9994 kg/L [69], para así determinar el flujo másico de entrada de agua. Por lo cual ya se tienen todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 11, 12 y 13 que se muestran a continuación, resaltando que estas pueden ser resueltas análogamente como la ecuación 1.

Ecuación 11.

Balance de masa global para la unidad de lavado No.2

$$\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15}$$

Ecuación 12.

Balance de masa por componente (fibras), lavado No.2

$$x_F^{12} * \dot{m}_{12} + x_F^{13} * \dot{m}_{13} = x_F^{14} * \dot{m}_{14} + x_F^{15} * \dot{m}_{15}$$

Ecuación 13.

Balance de masa por componente (agua), lavado No.2

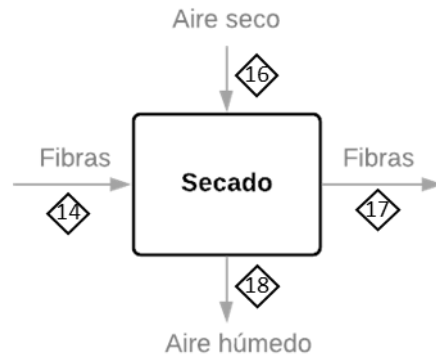
$$x_A^{12} * \dot{m}_{12} + x_A^{13} * \dot{m}_{13} = x_A^{14} * \dot{m}_{14} + x_A^{15} * \dot{m}_{15}$$

Como las fibras salen mojadas, estas deben de secarse para poder continuar el proceso, las fibras húmedas llegan por la corriente catorce (14) y entran en contacto con la corriente dieciséis (16) de aire seco, como resultado salen las fibras secas por la corriente diecisiete (17) y el aire húmedo saldrá por la corriente dieciocho (18), lo anterior se puede observar a través de la figura 29.

Los cálculos para esta unidad e proceso se especificaran más a detalle en el Anexo 1, en donde también se observa el balance de energía debido a que esta operación es de gran importancia para el proceso y para el área de ingeniería química

Figura 29.

Operación unitaria, secado No. 2



Nota. Representación gráfica del proceso de secado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Para esta operación se tiene en consideración que las fibras deben salir totalmente secas, para estimar la cantidad de aire requerido en la operación, se considera que el aire húmedo que sale de la operación está saturado a la temperatura ambiente de Bogotá (13 °C), este valor se puede obtener a través de la carta psicométrica o también por medio de una calculadora, para este caso el valor de humedad absoluta cuando el aire está saturado es 0,0932 kg vapor de agua/kg aire seco [70]. Por lo cual ya se tienen todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 14, 15, 716 y 17 que se muestran a continuación, resaltando que estas pueden ser resueltas análogamente como la ecuación 1.

Ecuación 14.

Balance de masa global para la unidad de secado No. 2

$$\dot{m}_{14} + \dot{m}_{16} = \dot{m}_{17} + \dot{m}_{18}$$

Ecuación 15.

Balance de masa por componente (bagazo), secado No. 2

$$x_B^{14} * \dot{m}_{14} + x_B^{16} * \dot{m}_{16} = x_B^{17} * \dot{m}_{17} + x_B^{18} * \dot{m}_{18}$$

Ecuación 16.

Balance de masa por componente (agua), secado No. 2

$$x_A^{14} * \dot{m}_{14} + x_A^{16} * \dot{m}_{16} = x_A^{17} * \dot{m}_{17} + x_A^{18} * \dot{m}_{18}$$

Ecuación 17.

Balance de masa por componente (aire), secado No. 2

$$x_{Air}^{14} * \dot{m}_{14} + x_{Air}^{16} * \dot{m}_{16} = x_{Air}^{17} * \dot{m}_{17} + x_{Air}^{18} * \dot{m}_{18}$$

El paso octavo es el proceso es el cardado, en el cual las fibras entran por la corriente diecisiete (17) y salen en forma de velo por la corriente diecinueve (19), lo anterior se puede observar a través de la figura 30. Para este proceso se considera que no existe ninguna pérdida durante el procesado del material, por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 18 para darle solución, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Figura 30.

Operación unitaria, cardado



Nota. Representación gráfica del proceso de cardado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Ecuación 18.

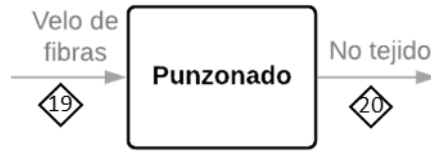
Balance de masa global para la unidad de cardado

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{19}$$

El velo se debe fijar a través del proceso de punzonado, donde el velo entra por la corriente diecinueve (19) y sale como un no tejido por la corriente veinte (20), lo anterior se puede observar a través de la figura 31. Para este proceso se considera que no existe ninguna pérdida durante el procesado del material, por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 19 para darle solución, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Figura 31.

Operación unitaria, punzonado



Nota. Representación gráfica del proceso de punzonado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Ecuación 19.

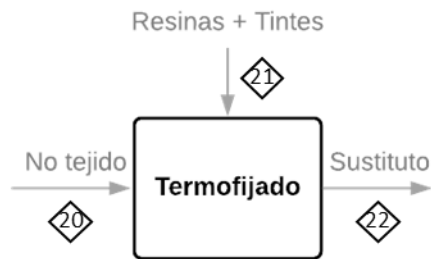
Balance de masa global para la unidad de punzonado

$$\dot{m}_{19} = \dot{m}_{20}$$

El siguiente proceso es el termofijado en donde, el no tejido entra por la corriente veinte (20) y es rociado de resinas por la corriente veintiuno (21), formando así el sustituto que saldrá por la corriente veintidós (22), lo anterior se puede observar a través de la figura 32.

Figura 32.

Operación unitaria, termofijado



Nota. Representación gráfica del proceso de termofijado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Para este proceso se estima que aproximadamente se necesita de 1,048 g de resina por cada g de fibras, este dato está basado en los cálculos reportados por N. Bonilla [19]. Por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 20 que se muestra a continuación, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Ecuación 20.

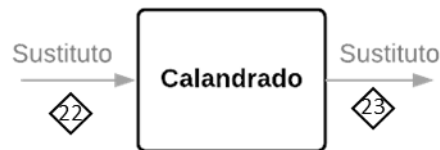
Balance de masa global para la unidad de termofijado

$$\dot{m}_{20} + \dot{m}_{21} = \dot{m}_{22}$$

El proceso once consiste en el calandrado, en el cual es sustituto entra por la corriente veintidós (22) y sale por la corriente veintitrés (23), lo anterior se puede observar a través de la figura 33. Para este proceso se considera que no existe ninguna pérdida durante el procesado del material, por lo cual ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 21 para darle solución, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Figura 33.

Operación unitaria, calandrado



Nota. Representación gráfica del proceso de calandrado a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Ecuación 21.

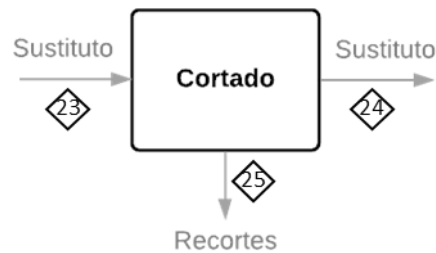
Balance de masa global para la unidad de calandrado

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23}$$

Por último el proceso que sigue es el de corte, en donde el sustituto ingresa por la corriente veintitrés (23) y sale por la corriente veinticuatro (24), también existe una corriente de salida veinticinco (25) la cual pertenece a los recortes, pero esta no se considera en el balance debido a que no se tienen datos experimentales para basar su valor; lo anterior se puede observar a través de la figura 34. Para este proceso ya se tiene todos los datos especificados para resolver el balance de masa para esta unidad, por tanto se hace uso de la ecuación 22 para darle solución, resaltando que esta puede ser resuelta análogamente como la ecuación 1.

Figura 34.

Operación unitaria, corte



Nota. Representación gráfica del proceso de corte a través de un diagrama de bloques, en esta puede observarse las corrientes de entradas y salidas que se presentan en esta unidad de proceso.

Ecuación 22.

Balance de masa global para la unidad de corte

$$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{24} + \dot{m}_{25}$$



Cabe hacer un hincapié en cuanto a la suposición de considerar que en cada operación unitaria no se pierde materia, se sabe que cada proceso efectuado traerá consigo una pérdida de masa (ya que una parte de la materia prima puede quedar dentro de las maquinas, puede perderse durante el transporte a cada operación, etc.), de no tener esa pérdida se consideraría como un proceso ideal (el cual es imposible de tener en la vida real), pero al plantear un proceso teórico y al no tener datos verídicos de cuál es la fracción de materia prima perdida se reserva el hecho de suponer un dato que pueda conllevar a impresiones ya que dependiendo de dónde se obtenga el bagazo este puede tener más o menos impurezas, por lo tanto se deja abierta la posibilidad de modificar el balance si se tienen datos experimentales.

4.8.1 Cuadro de selección de equipos

Con el fin de abarcar un proceso con capacidad de planta piloto, se especifica la figura 35, que contiene los equipos a utilizar para una determinada base de cálculo de 1 Ton/día de corteza de bagazo (esto se puede detallar más a profundidad en el inciso de balance de masa).


Figura 35.

Especificación de equipos para cada unidad de proceso

Operación unitaria: Tamizado	
Equipo (S-101)	Especificación
	<p>Equipo: Tamiz vibratorio</p> <p>Compañía: Xinxiang Dahan Vibrating Machinery Co.,Ltd</p> <p>Capacidad: 0,11 – 20 ton/h</p> <p>Potencia: 0,75 kW</p>
<p>Tomado de: Xinxiang Dahan Vibrating Machinery Co.,Ltd., Linear Vibration Screen, [En línea], Disponible: https://www.alibaba.com/product-detail/_62536613051.html?spm=a2700.7724857.topad_creative.6.392b3812nSWfaF, [Acceso, dic. 14, 2021]</p>	
Operación unitaria: Lavado	
Equipo (TT-101 y DE-101, TT-102 y DE-102)	Especificación
	<p>Equipo: Lavadora y secadora por aspersion</p> <p>Compañía: Sulfat, s.a.</p> <p>Potencia: 25 kW</p> <p>Proceso: Lavado, enjuague, secado.</p> <p>Longitud: 6050mm</p> <p>Ancho: 2200mm</p> <p>Alto: 1580mm</p>


Tomado de: Surfata, s.a. Maquina de lavado y secado, por aspersión en medio acuoso, [En línea], Disponible: http://www.surfata.es/pdf/lavadoras_por_aspersion_de_cinta.pdf, [Acceso, oct. 20, 2021]

Operación unitaria: Desmedulado

Equipo (SR-101)	Especificación
	<p>Equipo: Desmedulador Compañía: Pallmann Capacidad: 2,6 t/h Potencia: 75 kW</p>

Tomado de: Pallman, Depither Centurion, [En línea], Disponible: <https://produkte.pallmann.eu/katalog/downloads/Depither%20PMS%20Centurion58ef1694401101.27860766.pdf>, [Acceso, oct. 20, 2021]

Operación unitaria: Pulpado

Equipo (SR-102)	Especificación
	<p>Equipo: Molino de cuchillas Compañía: Molinos y Mezcladoras Veyco Capacidad: 200 – 400 kg/h Dimensiones: Largo de cuchillas 600mm, Tolva de alimentación 600x400mm</p>

Potencia: 2 kW

Tomado de: Veyco, Molinos & mezcladoras, [En línea], Disponible: <https://molinosymezcladoras.com.mx/molinos-de-cuchillas.html>, [Acceso, oct. 21, 2021]

Operación unitaria: Cardado

Equipo (CA-101)



Especificación

Equipo: Máquina de cardado

Compañía: Shanghai Xunuan International Co.

Dimensiones: L 2200mm, W 2100mm, H 1000mm,

Peso: 2000 kg.

Costo: 5000 US

Potencia: 5,5 kW

Capacidad: 40-80 kg/h

Tomado de: Shangai xunuan international trade, [En línea], Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/laboratory-carding-machine-wool-carding-machine-small-carding-machine-1600128442050.html?spm=a2700.8699010.29.61.51d2151f89GGck>, [Acceso, oct. 21, 2021]

Operación unitaria: Punzonado



Especificación

Equipo: Punzonadora

Compañía: Shandong New Haina Machinery Co., Ltd.

Voltaje: 380 v


Capacidad: 480 m/h

Potencia: 0,0075 kW

Costo: 11000 US


Tomado de : Shandong new haina machinery, [En línea], Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/nonwoven-needle-punching-machine-for-geotextile-556868570.html?spm=a2700.details.0.0.37ed2cf2u5rZnB>, [Acceso, oct. 21, 2021]

Operación unitaria: Termofijado (pigmentadora)

Equipo (PI-101 y P-101)	Especificación
	<p>Equipo: Acabado de rodillos</p> <p>Compañía: Gemata</p> <p>Contiene: Dispositivo de mezcla de pigmentos, sistema de calefacción para los cilindros para la aplicación de distintos aditivos.</p> <p>Potencia: 1 kW</p> <p>Capacidad: 4-40 m/min</p>

Tomado de : Gemata, [En línea], Disponible: https://www.gemata.it/a_ESP_332_1.html, [Acceso, oct. 21, 2021]


Operación unitaria: Termofijado (secado)

	Especificación
	<p>Equipo: Tunnel de secado</p> <p>Compañía: Croma</p> <p>Voltaje: 220 v</p> <p>Costo: 3582,24 US</p>

Potencia: 4,8 kW


Tomado de: Croma your printing partner, [En línea], Disponible: https://cromaiberica.com/es/secado-curado-tunel-secado-serigrafia/226-secado-curado-tunel-secado-serigrafia-ts1800.html#saber_mas, [Acceso, oct. 21, 2021]

Operación unitaria: Calandrado

Equipo (CAL-101)	Especificación
	<p>Equipo: Calandradora Compañía: Maxima Engineering Capacidad: 15000 – 20000 m Voltaje: 220 v Potencia: 1,5 kW</p>

Tomado de: Maxima engineering, [En línea], Disponible: <https://www.indiamart.com/proddetail/calendering-machine-20408210412.html>, [Acceso, oct. 21, 2021]

Operación unitaria: Cortado

	Especificación
	<p>Equipo: Cortadora Compañía: Rexel Voltaje: 230 v Potencia: 0.6 kW Dimensiones: Anchura de rollo 2500 –</p>

3000mm, peso de rollo hasta 40kg, diámetro de rollo hasta 300mm

Tomado de : Rexel, [En línea], Disponible: <https://www.rexelpoland.com/es/produkt/maquinas-rebobinadoras-de-medicion-para-telas-para-estores-enrollables-ctrl-3000>, [Acceso, oct. 21, 2021]

Nota. Cuadro de selección de equipos para un nivel planta piloto, en esta se puede detallar capacidades, fabricantes, y demás especificaciones propias de cada equipo.

En el Anexo 2, puede verse con mayor detalle las especificaciones del fabricante de algunos equipos como también las fichas técnicas proporcionados directamente del fabricante.

A continuación, en la tabla 11 se puede observar el flujo másico, composiciones, temperatura y presión de cada corriente del proceso.

Tabla 11.

Condiciones de operación

Corriente	1	2	3	4	5
Temperatura [°C]	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Presión [Bar]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flujo másico [kg/h]	75,50	73,99	1,51	73,94	109,39
Composición másica					
Bagazo	1,00	0,98	1,00	0,00	0,50
Agua	0,00	0,02	0,00	1,00	0,50
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Resina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<hr/>					
Corriente	6	7	8	9	10
Temperatura [°C]	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Presión [Bar]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flujo másico [kg/h]	38,54	430,81	65,12	475,09	41,67
Composición másica					
Bagazo	0,00	0,00	0,84	0,00	0,84
Agua	1,00	0,00	0,16	0,09	0,16
Aire	0,00	1,00	0,00	0,91	0,00
Resina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<hr/>					
Corriente	11	12	13	14	15
Temperatura [°C]	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Presión [Bar]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flujo másico [kg/h]	23,44	41,67	73,94	55,84	59,77
Composición másica					
Bagazo	0,84	0,84	0,00	0,50	0,00
Agua	0,16	0,16	1,00	0,50	1,00
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Resina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<hr/>					
Corriente	16	17	18	19	20
Temperatura [°C]	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Presión [Bar]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flujo másico [kg/h]	271,67	27,92	299,59	27,92	27,92
Composición másica					
Bagazo	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
Agua	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
Aire	1,00	0,00	0,91	0,00	0,00
Resina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<hr/>					
Corriente	21	22	23	24	25
Temperatura [°C]	13,00	13,00	25,00	13,00	13,00
Presión [Bar]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flujo másico [kg/h]	29,14	57,07	57,07	57,07	-
Composición másica					
Bagazo	0,00	0,49	0,49	0,49	-
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Resina	1,00	0,51	0,51	0,51	-
---------------	------	------	------	------	---

Nota. Tabla de resumen de las condiciones de operación, en esta se presenta de manera detallada las condiciones de operación de cada una de las corrientes que participan en el proceso.

El proceso propuesto anteriormente se basó en una rigurosa revisión bibliográfica, con el fin de presentar un proceso acorde a la realización de un sustituto del cuero bovino a partir de fibras naturales derivadas de la caña de azúcar. A continuación, se especificarán de forma breve cada una de las operaciones unitarias tenidas en cuenta para la elaboración del sustituto del cuero, así como las condiciones de operación y los equipos a utilizar en cada uno de los procesos. Cabe mencionar que, para el caso de las condiciones de operación, se especifica que en su mayoría la temperatura y la presión son constantes. Se supone que los cambios de temperatura y presión dentro del proceso no se evidencian puesto que estos se dan dentro de los equipos propuestos en cada operación unitaria y no afectan (en su mayoría) al producto obtenido en cada una de ellas.

En primera instancia se encuentra el tamizado, este logra disminuir en gran proporción las impurezas que el bagazo de caña de azúcar que puede contener después de haber pasado por el trapiche. El equipo propuesto para este proceso fue una criba vibratoria que por medio de agitación permitirá clasificar las partículas por tamaños; las partículas que logren pasar por las aberturas serán todas las impurezas que se habrán eliminado de la materia prima, el restante será el bagazo con un porcentaje de impurezas sólidas mucho menor a la inicial. Las condiciones de operación que implica este proceso para las corrientes 1, 2 y 3 son a temperatura de 13°C y una presión de 0.75 bar.

Para una remoción más profunda de las impurezas sólidas y restantes de jugos de caña que aún se encuentran impregnadas en el bagazo de caña de azúcar, se proponen dos etapas que se realizan en un mismo equipo. El equipo seleccionado fue una lavadora y secadora por aspersion con recirculación de aire caliente para el secado, la temperatura dentro del equipo para el proceso de secado puede rondar entre los 35 a los 60°C [47]. El secado se debe realizar con el objetivo de reducir la humedad de bagazo (16% Ha) a una más apta para el siguiente proceso. Sin embargo, las condiciones de operación para las corrientes presentes en ambas etapas (corrientes 3 – 9) se dan a una temperatura de 13°C y una presión de 0.75 bar. La elección de una lavadora y secadora por aspersion ayuda a reducir los costos generados por los equipos a adquirir puesto que esta realiza

las dos operaciones en un mismo equipo, es bastante efectiva y versátil. Las zonas de carga y descarga se encuentran en los extremos de la máquina, y ésta está compuesta por un túnel, un sistema de aspersión y un sistema de secado [72]. El lavado y el secado se efectúan por medio de una corriente de vapor que puede estar a alta o baja presión (según el material), el flujo se proyecta sobre el material o la pieza mediante el bombeo de la solución de limpieza a través de un sistema de conducción y a medida que el sólido avanza, este es pasado a través de una corriente de aire caliente que se encargará de evaporar el agua, el agua evaporada saldrá por la parte superior de la máquina y el producto ya secado saldrá por la parte opuesta del que fue ingresado.

La operación de desmedulado se seleccionó con la finalidad de eliminar una cantidad de materia presente en el bagazo de caña azúcar. Esta materia denominada como médula o meollo representa cerca del 36% del total de bagazo y se tiene que eliminar para lograr separar la fibra útil que se va a emplear para el proceso (corteza), de aquella que no aporta gran valor al producto terminado. Teniendo en cuenta las complicaciones que esta implica, que se encuentran especificadas en el numeral 9.2., se seleccionó un desmedulador como equipo a utilizar para la separación de las fibras, y las condiciones de operación para las corrientes 8, 10 y 11 se encuentran a 13°C y a una presión de 0.75 bar.

El siguiente proceso es el pulpado, este consiste en reducir la mayor cantidad de lignina posible de las fibras obtenidas del proceso de desmedulado. La razón para eliminar la lignina es que esta le otorga resistencia y elasticidad a las fibras, complicando la separación de estas para el proceso de cardado. El equipo a utilizar es un molino de cuchillas que reducirá el tamaño de la corteza del bagazo, obteniendo así fibras ligeras y delgadas que facilitan el proceso de cardado y la obtención un no tejido en las mejores condiciones. La elección de un molino de cuchillas se debe a que este es un equipo bastante utilizado en materiales blandos, fibrosos y resistentes como lo es el bagazo de caña de azúcar; las cuchillas ayudarán a eliminar una gran parte de la lignina sin mucho esfuerzo permitiendo de esta manera que las fibras sean las adecuadas para los procesos posteriores, a diferencia de otro tipo de molinos como lo pueden ser de bolas o de martillos la eficiencia no sería la esperada para este tipo de procedimientos. La temperatura y presión para las corrientes 10 y 12 se dan a 13°C y 0.75 bar.

Posterior al proceso de pulpado se realizan los mismos procesos de limpieza para las fibras obtenidas, se lavan y se secan con el fin de reducir el material articulado no útil que pueda haber

quedado en proceso anteriores, el proceso se realiza en una lavadora y secadora por aspersión. Las condiciones de operación se encuentran a una temperatura de 13°C y a una presión de 0.75 bar para las corrientes 12 – 18.

Para la obtención del no tejido se seleccionó el método por vía seca (cardado) que es la opción más flexible en cuando al tamaño y al tipo de las fibras obtenidas. El proceso consiste en formar un no tejido pasando las fibras por unos cilindros con púas que limpian y ordenan las fibras para obtener un tipo de velo fibroso. Se realiza en una máquina de cardado y las condiciones de operación para las corrientes implicadas (17-19) se dan a una temperatura de 13°C y una presión de 0.75 bar.

El siguiente proceso es el punzonado, el cual es el proceso que fija el velo no tejido formando así la base del sustituto. El equipo a utilizar es una punzonadora que por medio de agujas, penetran el velo fibroso entrelazando las fibras con el fin de hacer el no tejido más denso y fuerte. La calidad del no tejido estará determinada por la disposición en la que se encuentren las fibras, haciéndolo más o menos resistente (especificado en el numeral 9.5). Las condiciones de operación para las corrientes 19 y 20 serán de 13°C a una presión de 0.75 bar.

El acabado del no tejido y termofijado, consisten en darle textura y apariencia similar a la del cuero al no tejido, logra crear una superficie lisa sobre el no tejido y para ello son utilizados diversos aglutinantes y/o resinas que son los que le darán mejores características al producto final, así como la apariencia de imitación al cuero. La selección de estas se hace teniendo en cuenta a qué tipo de producto se va a emplear el sustituto del cuero. El equipo principal a utilizar es un acabado de rodillos (pigmentadora) que impregna el no tejido de la mezcla de resinas y/o aglutinantes seleccionados, en adición con colorantes y aditivos (si se desea) para obtener un no tejido liso y de apariencia similar al cuero. Las condiciones de operación se dan a una temperatura de 13°C y a una presión de 0.75 bar para las corrientes 20, 21 y 22.

Adicionalmente, se hace necesario el uso de un túnel de secado que ayuda a fijar rápidamente y completamente estos compuestos al no tejido. El túnel de secado opera a una temperatura que puede rondar de los 70 a los 100°C para los acabados resinados y esta varía dependiendo de la velocidad de la banda que transporta el no tejido. La corriente de salida del secado (23) se encuentra a una temperatura aproximada de 25°C y a una presión de 0.75 bar.

Finalmente, el sustituto del cuero se compacta y se enrolla por medio de una máquina calandradora. La corriente de salida del calandrado (24) se encuentra a una presión de 0.75 bar a una temperatura de 13°C. De ser necesario y depende el tipo de aplicación del sustituto este se puede cortar en una máquina cortadora en donde las condiciones de operación serán las mismas especificadas anteriormente.

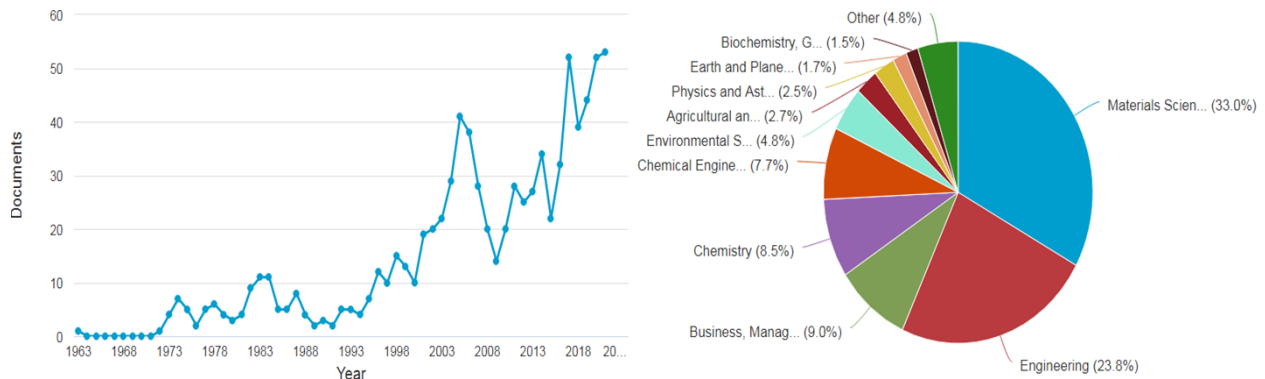
5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para validar este proceso, se debe tomar en consideración que el planteamiento del mismo es netamente teórico por lo que su validación dependerá de lo que otros autores han planteado y demostrado. En cuanto a la obtención de las fibras de bagazo, la mayor parte del proceso propuesto en el documento hace parte de la fabricación de papel a partir del bagazo de caña de azúcar, en particular el proceso descrito es el que sigue la empresa Carvajal S.A. [73] para la fabricación y comercialización de papel de caña desde la recepción de la biomasa hasta el pulpado, exceptuando el proceso de limpieza, ya que ellos utilizan agua y sosa caustica para ello, y el proceso de pulpado que lo realizan por suspensión; pero al ver otras alternativas posibles de estos dos procesos que evaluadas resultan ser más beneficiosas, se decidió optar por un lavado solo con agua y un pulpado sin adición de agua.

Para el proceso de la formación del no tejido, se tuvo en cuenta que la información sobre este a partir de fibras naturales es extensa, esto se puede observar mejor en la figura 36, en donde por medio de un análisis bibliométrico a través de la base de datos bibliográficos Scopus (Anexo 3), se determinó que es un tema que a través de los años ha sido de gran relevancia sobre todo en los últimos cinco años al poder ser utilizado como filtros, materiales de refuerzos, sustituto de materiales, entre otros. Además, que es un tema donde diversas áreas del conocimiento se han centrado. En vista de lo anterior, para la formación del no tejido se tuvo en cuenta un proceso viable, que fuera utilizado por industrias textiles (como el caso de la industria de la lana y la guata) en el caso de seleccionar el cardado, mientras que en la fijación del no tejido se seleccionó teniendo en cuenta que los no tejidos punzonados tenían gran uso en la industria (sobre todo en la industria donde podrían reemplazar al cuero animal, como la tapicería y el calzado aun sin tener otro acabado).

Figura 36.

Análisis bibliométrico para no tejidos a partir de fibras naturales



Nota. Al lado izquierdo se aprecia la gráfica del número de documentos publicados a través del tiempo acerca de no tejidos a partir de fibras naturales. Al lado derecho se aprecia el porcentaje de documentos publicados según áreas temáticas específicas. Tomado de: Scopus. [En línea] <https://www.scopus.com/home.uri>.

Para poder dar acabado al no tejido y brindarle la apariencia del cuero, se remitió nuevamente a revisiones bibliográficas, en donde se haya realizado un acabado resinado sobre un no tejido, en el cual se pudo corroborar los tipos de aglutinantes y técnicas utilizadas. Además, el proceso planteado se basó principalmente en el acabado que se le da al cuero animal, en cuanto a aditivos, resinas y lacas, ya que resulta un proceso bastante similar a lo encontrado para formar un cuero artificial vegetal como se evidencio en la visita a la empresa de acabados de pile Sortercueros S.A., por otro lado, los aglutinantes y/o resinas que se propone utilizar son a base de agua por lo que su degradación es más fácil y rápida con respecto a otras resinas a base de petróleo, aceite o que contengan metales pesados, también su utilización resulta ser de mayor seguridad al no tener solventes orgánicos que pueden ser inhalados.

Hoy en día, se han realizado grandes avances en la elaboración del cuero artificial, dando como resultado que este sea similar al cuero natural en términos de propiedades físicas y funcionalidad. En general se hace uso de ambos tipos de material (cuero natural y artificial) teniendo en cuenta que uno es más económico y menos duradero con respecto al otro [74].

En cuanto a la idea del producto planteada, según Ngwabebhoh [75] la biomasa obtenida como residuo de actividades agrícolas, se ha aplicado ampliamente en la preparación de materiales composites y se ha demostrado que mejora el rendimiento del material en términos de biodegradabilidad y rentabilidad con respeto al medio ambiente, por lo que resulta de gran

relevancia darle valor agregado al bagazo de caña para convertirlo en la base de un sustituto del cuero.

Por otra parte la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas entre el cuero animal y el sustituto planteado no es del todo posible, ya que se necesita un análisis experimental para poder comparar resultados, pero se han encontrado autores que han realizado la comparación.

Por ejemplo E. Roh [74], compara las propiedades mecánicas del cuero animal y el cuero artificial, indicando que existe una diferencia significativa entre las pieles naturales y las artificiales con respecto a la resistencia a la tracción (que indica la capacidad del material de recuperarse del estiramiento), siendo los cueros naturales usados para bolsos los que tienen mejor resistencia que los cueros artificiales (implica que hay un mayor estabilidad en la forma); también compara el índice de alargamiento, siendo este mejor en los cueros artificiales ya que tienen una tela de base (generalmente compuesta de telas tejidas, no tejidas o de punto) que son más elásticas y pueden estirarse hasta 500%; su estudio dio como resultado que los cueros naturales y los artificiales tienen diferencias en cuanto a sus propiedades mecánicas, pero en cuanto a las propiedades de tracción, flexión y cizallamiento de los cueros artificiales asimilan las del cuero natural (de todo tipo) debido al tejido base.

También está el caso de N. M. Bonilla [19], en donde realizan un sustituto del cuero a base de fibras de piña, cabe mencionar que este sustituto tiene una elaboración similar al planteado en este documento. En el trabajo se realizaron y compararon pruebas de propiedades mecánicas según la normativa adecuada, en donde obtuvieron que la muestra con los mejores resultados para la resistencia a la tracción fue la muestra de longitud de 6cm-8cm con un valor de 225,6 N que en comparación con el cuero tiene un valor de 279,51N, lo que se considera adecuado puesto que varió solo un 19,29%; con respecto a la resistencia a la ruptura por abrasión se obtuvo que con las diferentes longitudes de fibras utilizadas para el ensayo tuvieron una buena resistencia, siendo considerado de acuerdo con la norma como un textil resistente puesto que resistió 50000 ciclos (y lo mínimo para el cuero son 500 ciclos), aunque en esta prueba se notó un desgaste en el color; para la resistencia al desgarre el no tejido elaborado con una longitud media que es de 6cm – 8cm, llegó a soportar 20,25 N y de acuerdo a la norma ASTM 5734 se considera aceptable.

Otro estudio lo realiza Ngwabebhoh, et al. [75], donde describe la preparación de materiales biocompuestos similares al cuero a partir de celulosa microbiana y fibras de hojas de arce como

rellenos biológicos, en este realiza una comparación entre el material obtenido y el cuero artificial convencional, los análisis realizados de tracción demostraron y el módulo de almacenamiento de las muestras preparadas dieron como resultado $2,13 \pm 0,29 \text{ N / mm}^2$ y $76,93 \pm 1,63 \text{ MPa}$ respectivamente; también se realizaron análisis de volumen de los poros, dando como resultado que los biocompuestos son porosos y posiblemente respirables; además, los biocomposites preparados demostraron una buena estabilidad de en tanto a la forma y propiedades de adherencia. En general, los resultados mostrarán que las características mecánicas de los biocompuestos preparados son adecuados para aplicaciones prospectivas como componentes sustitutos del cuero (sobre todo para calzado), pero en comparación con el cuero sintético de poliuretano convencional, el biocompuesto requerirá de una adaptación adicional para cumplir con el rango de uso más amplio esperado.

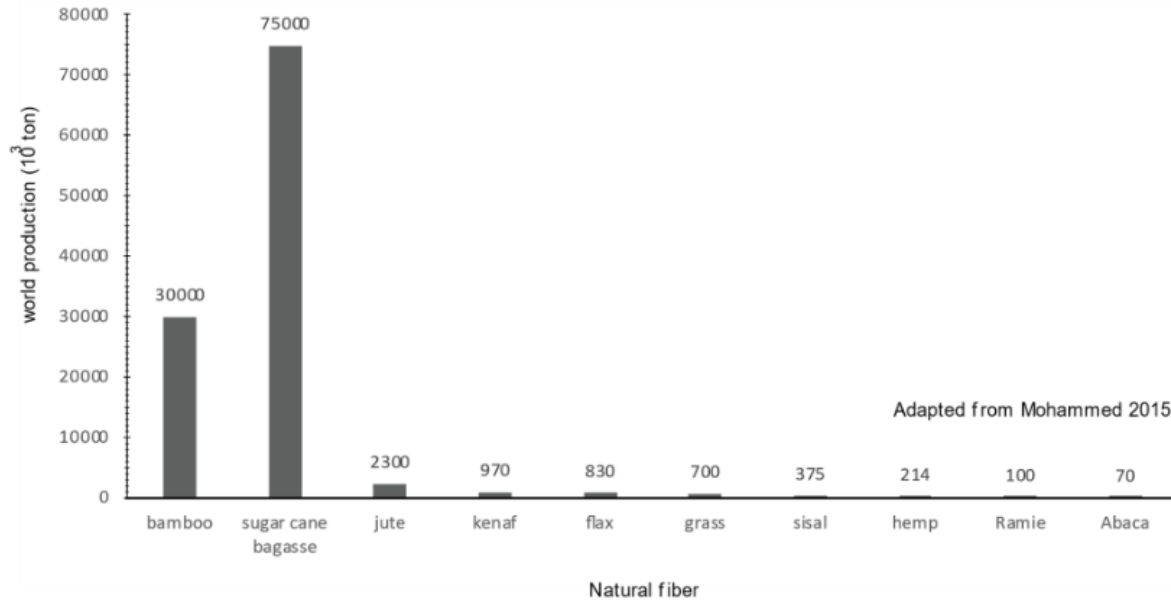
Como antes se mencionó la caracterización del cuero es importante para conocer las propiedades a las cuales se desearía llegar si se realiza de forma experimental el sustituto, en el numeral 7., puede observarse que el cuero animal tiene un amplio rango de magnitudes para cada propiedad medida, por lo tanto el sustituto aquí planteado debería cumplir con igualar las propiedades físicas, las cuales son la de mayor interés para la comercialización del cuero, si el sustituto cumple con un espesor determinado puede utilizarse junto con el cuero animal en aplicaciones determinadas para ese espesor y analizar si paulatinamente esa mezcla pueda ser modificada disminuyendo la cantidad de cuero animal utilizada para dicho producto; en cuanto a las propiedades químicas podría decirse que no pueden ser alcanzadas por el sustituto debido a que la procedencia de la materia prima es diferente; en cuanto a las propiedades mecánicas estas son las que más variaciones presentan por lo que asimilar estas propiedades es un trabajo bastante riguroso y necesariamente experimental, pero si se realiza una mezcla de aglutinante específica puede llegar a asimilar una de las propiedades que el cuero posee.

Con respecto a la selección del bagazo de caña de azúcar como materia prima base, se realiza teniendo en cuenta aspectos importantes en cuanto a producción, economía y el aporte que las fibras de bagazo le otorgan al sustituto del cuero terminado. Gracias a su producción masiva en todo el mundo (figura 37), las fibras de bagazo de caña de azúcar ocupan un lugar importante en bastantes aplicaciones. Adicionalmente, su bajo coste, baja densidad y las propiedades mecánicas

las convierten en un candidato ideal para ser considerado como refuerzo en diversos productos compuestos [76].

Figura 37.

Producción mundial de bagazo de caña de azúcar y otras fuentes de fibras naturales



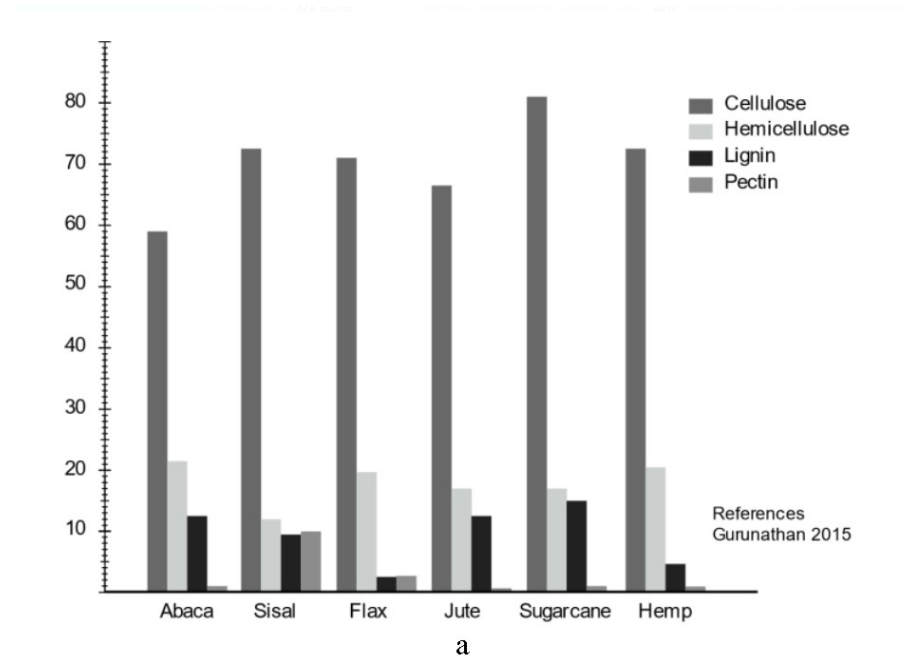
Nota. Se presenta la gráfica de producción mundial de bagazo de caña de azúcar y otras fuentes de fibras naturales. La producción de bagazo de caña de azúcar se destaca muy por encima teniendo en cuenta otro tipo de fibras naturales, se hace necesario el aprovechamiento de este residuo proveniente de la industria azucarera para desarrollar procesos viables, económicos y ecológicos. Tomado de D. R. Germán, et al., *Bagasse sugarcane fibers as reinforcement agents for natural composites: description and polymer composite applications*, Revista UIS ingenierías, Vol. 18, n.º 4, pp. 117-130, 2019. DOI: 10.18273/revuin.v18n4-2019011, [En línea], Disponible: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/9495/9876>, [Acceso, nov. 11, 2021].

Por otro lado, la producción masiva de bagazo a bajo costo, proporciona fibras de baja densidad con propiedades mecánicas que la convierten en una materia prima apta para ser considerada como material de refuerzo en los compuestos poliméricos [76]. La composición del bagazo de caña de azúcar así como de las fibras derivadas son especificadas en el numeral 8., resaltando que las mejores prestaciones como refuerzos se consiguen con las variedades que posean mayor contenido en celulosa [76] como se evidencia en la (figura 38). La celulosa por su parte se encuentra dentro

del 60% y el 80% del total del peso de las fibras del bagazo de caña de azúcar, seguida de la hemicelulosa entre el 11% y 21%, la lignina entre 4% al 15% y la pectina entre el 1% al 3%.

Figura 38.

Composición de diversas fibras naturales



Nota. Cantidad de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina presente en diversas fibras naturales. Tomado de D. R. Germán, et al., *Bagasse sugarcane fibers as reinforcement agents for natural composites: description and polymer composite applications*, Revista UIS ingenierías, Vol. 18, n.º 4, pp. 117-130, 2019. DOI: 10.18273/revuin.v18n4-2019011, [En línea], Disponible: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/9495/9876>, [Acceso, nov. 11, 2021].

Si el sustituto llega a obtenerse de forma experimental, este puede llegar a usarse en aplicaciones donde no deba de estar sometido a grandes esfuerzos durante su uso, además este puede usarse como se dijo antes junto con el cuero animal u otro tipo de material (como la tela), un ejemplo de ello puede ser la fabricación de un zapato en donde la capellada que es la parte que está sometida repetidamente a la flexión este hecha de cuero animal, mientras que la caña, apliques o talón estén hechos de sustituto; otro uso que podría dársele es en apliques de marroquinería, como bolsillos externos de una chaqueta, adornos en cinturones, etc.; si ya ha pasado la parte de la experimentación y se encuentra la relación idónea entre fibras/aglutinantes y se tiene la mezcla de

resinas ya establecida, el sustituto puede usarse para realizar productos sin la necesidad de combinarse con otros materiales, como lo pueden ser billeteras, sombreros, tapas de libros, entre otras.

En cuanto a la comparación de los precios que tiene cada material se tiene que el cuero animal curtido puede tener un valor de \$100.000 a \$200.000 COP por metro (aunque este se vende por decímetros), pero puede oscilar dependiendo del tipo de piel y las características que posea según lo investigado en las comercializadoras de cuero del barrio Restrepo ubicado en Bogotá; el cuero sintético tiene un valor de \$35.000 COP a \$45.000 COP por metro, que también dependerá de la calidad y espesor según lo investigado en las comercializadoras peleteras del barrio Restrepo ubicado en Bogotá; mientras que un sustituto como es el caso de Piñatex (piel de piña) puede tener un valor de \$150.000 COP por metro, también está el caso de Desserto (piel de nopal) que puede llegar a costar \$95.000 COP por metro; siendo así se puede observar que existen diferencias significativas entre cada material, por lo que afirmar si producir un sustituto a base de fibras de caña de azúcar es viable económicamente puede conllevar a un error, ya que en comparación con los cueros sintéticos estos son más costosos pero más económico en comparación a los cueros. Pero al ser un material que apoya una economía circular y el aprovechamiento de residuos se considera que el precio de este está justificado y que su compra conlleva a un cambio de consumo poco responsable.

Por lo tanto el proyecto abre la posibilidad para futuras investigaciones que permitan abordar de manera experimental o a través de la simulación los resultados presentados en la investigación.

6. CONCLUSIONES

El propósito del presente estudio fue desarrollar un proceso para obtener un sustituto del cuero bovino a base de fibras naturales derivadas de la caña de azúcar, la cual es una fuente de biomasa renovable y disponible en Colombia.

Determinando así que el proceso consiste en el pretratamiento del bagazo de caña de azúcar, el cual es necesario para poder obtener las fibras en aptas condiciones para ser utilizadas como base del sustituto, para ello las principales operaciones de transformación involucran la limpieza (tamizado, lavado y secado), desmedulado y pulpado. Posterior a eso se realiza el proceso de la fabricación del no tejido con las fibras de caña obtenidas, para ello se propone el uso de una carda la cual dará como producto un velo de fibras, después este velo se fijara con el fin de tener una base de fibras más sólidas por medio del método de punzonado. Ya obtenida la base no tejida del sustituto se procede a darle acabado, para ello se propuso la utilización de resinas unitarias, compactantes y pigmentos, finalmente el material formado se secar y se calandra para su enrolle.

Fue posible realizar la caracterización teórica de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de cuero bovino, con el fin de conocer cuáles son la propiedades idóneas que debe cumplir el sustituto del cuero planteado, se estableció que el cuero tiene propiedades muy variadas dependiendo de su uso, sobre todo sus propiedades físicas, en cuanto a las propiedades mecánicas, estas pueden variar dependiendo del lugar donde se tome la muestra, como también la posición en la que se realicen las pruebas.

La determinación del uso de la fibra del bagazo de caña de azúcar se realizó a partir de las propiedades que estas les aportan al producto terminado, destacando principalmente la resistencia. La revisión bibliográfica realizada entre diversos tipos de fibras naturales empleadas ayudó a justificar que las fibras derivadas del bagazo de caña de azúcar eran las más óptimas para realizar el proceso para la obtención de un sustituto del cuero bovino, teniendo en cuenta los niveles de producción, costo, beneficio y aporte al producto terminado

Con base al estudio de referentes fue posible establecer la propuesta de diseño conceptual para la elaboración de un sustituto del cuero bovino a partir de fibras naturales derivadas de la caña de azúcar a escala piloto para el procesamiento de 1 Ton/día de sustituto, en donde se tuvieron en

cuenta los equipos de proceso a utilizar en cada operación unitaria, así como las condiciones de operación para cada corriente especificada.

Como un adicional, el proceso aquí establecido se llevó a cabo a nivel experimental, pero de forma muy casera, donde se pudo observar que si se puede obtener un sustituto del cuero a base de fibras de caña de azúcar, este proceso puede verse más a detalle en el Anexo 4.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Y. Buitrago Martínez y J. A. Romero Coca, “Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad”, *Rev. fac. cien. econ.*, vol. 26, no. 1, pp. 113-124, jun. 2017, DOI: <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>.
- [2] R. Méndez Pampin, et al. (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembres*. [En línea]. Disponible: <https://cutt.ly/abnGuLP>. [Acceso: ago. 7, 2021].
- [3] Corporación Financiera Internacional (IFC) Grupo del Banco Mundial, “Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para el curtido y el acabado del cuero”, abr. 2007. [En línea]. Disponible: <https://cutt.ly/pbnGNrJ>. [Acceso: ago. 12, 2021].
- [4] V. Michael, *Guía práctica e ilustrada de los trabajos en cuero*, 1a. ed., Barcelona, España: Acanto S.A., 2006.
- [5] G. Baugh, *Manual de tejidos para diseñadores de moda*, 1a ed., Barcelona, España: Parramón Moda, 2010.
- [6] Piñatex, “Piñatex- Piñatex”, [En línea]. Disponible: <https://www.ananas-anam.com/>
- [7] Rotterdam Fruit Leather, [En línea]. Disponible: <https://fruitleather.nl/about-us/>
- [8] Leather Naturally. (s.f.), “¿Por qué usar Cuero? Características y Propiedades del Cuero”. [En línea]. Disponible en: <https://www.leathernaturally.org/getattachment/c8188582-df7a-4bfa-bb70-799a11ad86cd/NodeAlias.aspx>. [Acceso: sep. 5, 2021].
- [9] R. Palop Arroyo, D. Sabaté Rojas. *Química de la fabricación del cuero*. 1ra ed. España. Delta Publicaciones Universitarias. 2021.
- [10] C. Villamil. (s.f.) “El Cuero y sus Características”, Centro de Manufactura en Textiles y Cuero del SENA.
- [11] Vinylplus Partners, “Reporting on 2018 Activities”, Europa, 2019. [PDF]. Disponible: https://vinylplus.eu/uploads/images/ProgressReport2019/VinylPlus%20Progress%20Report%202019_sp.pdf

- [12] F. L. Preciado Barrantes, G. D. Diaz Fonseca, *Diseño de una planta de producción de un producto sustituto del cuero elaborado a base de fibras de piña*, tesis de esp. Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital José Francisco de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019.
- [13] F. Stupenengo. (2011). *Materiales y materias primas*. Ed.1ra., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Grupo Editoria Educar, cap. 10. [En línea]. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>
- [14] AIMPLAS. (nov. 30, 2019), “Tipos de materiales compuestos”. [En línea]. <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>. [Acceso: sep. 12, 2021].
- [15] D. A. García Cárdenas, L.F. Gonzales Martin, *Caracterización de las Propiedades Mecánicas de Tensión y Flexión de un Material Elaborado de: Residuo de Cuero-Resina de Polurietano (Siguiendo la NTC595 y NTC3201)*, tesis de pre. Facultad de Tecnología Mecánica, Univeridad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia, 2019.
- [16] Naval Composites. (s.f.), “Conceptos de los Materiales Compuestos”. [En línea]. <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/conceptos>. [Acceso: sep. 22, 2021].
- [17] A. Castro Tafur, F. E. Contreras Cabello, *Estudio tecnológico para la fabricación de un sustituto del cuero hecho a base de fibra de caña de azúcar en el Perú*, tesis de pre. Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Lima, Lima, Perú, 2019.
- [18] M. Kannadaguli, R. Kotra. (s.f.), “Nonwoven Fabric Research”. [En línea]. https://www.apparesearch.com/education/research/nonwoven/2001_kermit_duckett/education_research_nonwoven_chemical_bonding.htm [Acceso: sep. 22, 2021].
- [19] N. M. Bonilla Andrade, *Elaboración de un no tejido a partir de la fibra de piña mediante la técnica del punzonado para obtener un producto similar al cuero en cuanto a su textura y apariencia*, tesis pre. Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2018.

- [20] M, LLopis. (dic. 4, 2011), “¿Es Ambar o resina copal?”. Millopis Gemología. [En línea]. <https://gemologiamllopis.com/%C2%BFes-ambar-o-resina-copal/>. [Acceso: sep. 3, 2021].
- [21] L. M. Vélez Moreno. (2088), *Materiales Industriales, Teoria y Aplicaciones*. Instituto Tecnológico Metropolitano, [En línea]. https://books.google.com.ec/books?id=VSdtMx8Oj8wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [22] Seguridad Pública. (ene. 4, 2011), “Clasificación de las Fibras”. [En línea]. <https://seguridadpublica.es/2011/01/04/clasificacion-de-las-fibras/>. [Acceso: sep. 10, 2021].
- [23] Redacción Infoagro. [En línea]. Disponible: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp. [Acceso: sep. 6, 2021].
- [24] Acocaña. (s.f.), “Sector Agroindustrial De La Caña”. [En línea]. <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>. [Acceso: sep, 6, 2021].
- [25] La República, “El amargo negocio del azúcar”, 18, diciembre, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/analisis/alfonso-aza-jacome-2763812/el-amargo-negocio-del-azucar-2806906>. [Acceso sep. 7, 201].
- [26] FINAGRO. (may. 2018), “Ficha de Inteligencia - Caña de Azúcar”. [En línea]. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_cana_de_azucar_version_ii.pdf. [Acceso: sep, 11, 2021].
- [27] D. Michel, B. Bachelier, et al. (2013). “Preparation of cellulosic fibers from sugarcane for textile use”. *Hindawi Publishing Corporation*, vol. 2013, article. ID 651787, 6 pages, oct., 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/651787>. [Acceso: sep. 10, 2021]
- [28] G. Morayala, E. Quintanilla, D. García. Escuela de ciencias y humanidades, “Propiedades físicas y químicas del cuero”. Universidad Don Bosco [En línea]. Disponible:

- <https://issuu.com/shirleyvelezcalderon/docs/203314106-propiedades-fisicas-y-qui>
[Acceso: oct. 25, 2021]
- [29] P. Silva Trejos. “Propiedades físicas y químicas del cuero para calzado de seguridad”. *“Tecnología en Marcha”*, vol. 18, no. 1, pp. 37-47. [Acceso: oct. 15, 2021]
- [30] C. L. De la Rosa Juárez. “Diseño de un Proceso para la Extracción de Cromo de un Residuo de la Curtiduría, y su Implementación en la Obtención de Biogás” Trabajo Final de Diplomado. Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías. León, Guanajuato, 2017.
- [31] Laboratorio de Control Calidad para Cuero y Calzado. “Guía para la Selección de Ensayos Manual del Usuario”. Centro de Nacional de Calzado y Manufactura del Cuero, SENA. 2003.
- [32] M. Ramírez, *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos, Módulo V: Caña de azúcar*, Ed. 1ra, Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV, Honduras, 2008.
- [33] E. López Bravo, et al., *Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña*, vol. 44, no. 3, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Instituto Politécnico Universitario de Trujillo, Universidad Agraria de la Habana, Cuba, Venezuela, 2017.
- [34] G. A. Roca Alarcón, et al., *Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: Características físicas*, Universidad de Oriente y Universida de Estadual de Campinas-UNICAMP, 2006.
- [35] W. G. Cortes Ortiz, *Materiales Lignocelulósicos como Fuente de Biocombustibles y Productos Químicos*, Tecno Esufa, vol. 16, Madrid, Colombia, 2011.
- [36] Z. Pernalete, et al., *Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco*, facultad de ingeniería, Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela, 2008.
- [37] GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), *Atlas del bagazo de caña de azúcar*. Cuba. GEPLACEA. 1990.

- [38] C. D. Villacís Pantoja, *Utilización del Bagazo de Caña de Azúcar para la Fabricación de Complementos Decorativos para el Hogar*, Proyecto de investigación, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Ambato, Ecuador, 2016.
- [39] R. Díaz, *Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador.*, Curso internacional: “Producción y Aprovechamiento Energético de Biomasa”, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2008.
- [40] E. M. Manals Cutiño, et al., *Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal*, vol. 35, no. 2, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2015.
- [41] M. Prado Martínez, et al., *Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta*, Artículo de investigación, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México, 2012.
- [42] G. Toval, *Calidad de la Madera de Eucalyptus Globulus como Materia Prima para la Industria Pastero-Papelera*, Centro de investigación forestal de Lourizán, Galicia, España, 2010.
- [43] Análisis matricial de estructuras reticuladas, Cap. 8, [En línea], Disponible: <https://n9.cl/zk346>. [Acceso, sep. 21, 2021].
- [44] Real Academia de la lengua Española, RAE. (s.f.), “Definición de bagazo”. [En línea]. <https://dle.rae.es/bagazo> [Acceso: oct. 20, 2021].
- [45] Canal Sappi Tube, (mar. 2, 2012). The Paper Making Process. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=E4C3X26dxbM>
- [46] Proain tecnología agrícola, Humedad del bagazo de la caña de azúcar, [En línea], Disponible: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/humedad-del-bagazo-de-la-cana-de-azucar>, [Acceso, oct. 18, 2021]

- [47] J. A. Villalba Vidales y N. A. de la Peña, Estudio experimental sobre el secado de bagazo de caña de azúcar panelera, Mecánica, Universidad tecnológica de Pereira, Colombia, 2019, [En línea] Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/849/84959429003/html/>, [Acceso, oct. 18, 2021]
- [48] M. R. Muñoz Solares, Secado de bagazo, una alternativa para ahorro de combustible, [En línea], Disponible: <https://docplayer.es/51814795-Secado-de-bagazo-una-alternativa-para-ahorro-de-combustible-resumen.html>, [Acceso, oct. 18, 2021]
- [49] A. I. Licona Aguilar, *Obtención de fibra dietética nutricional de valor agregado a partir de bagazo de caña*, Instituto Politécnico Nacional, Altamira, México, 2013.
- [50] L. J. Delfín Britos Invernizzi, G. E. Ramírez, *Proyecto de una planta de papel a partir del bagazo de caña*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, Asunción, Paraguay, 2018.
- [51] M. Zanuttini, *Pulpado de muy Alto Rendimiento*, Principios generales de pulpado, 2006.
- [52] Comparativa entre tipos de pulpas, [En línea], Disponible: <https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/comparativa>. [Acceso: sep. 28, 2021].
- [53] Calidad Total. (oct. 14, 2016), “La Matriz de Pugh para la toma de decisiones”. [En línea]. <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>. [Acceso: sep. 29, 2021].
- [54] R. Marín. (s.f), “Historia de los no tejidos”. Docslide. [En línea]: <http://myslide.es/documents/historia-delos-note-ji-dos.html>. [Acceso: oct. 2, 2021].
- [55] G, Coste. (jun. 29, 2004). “Telas no tejidas”. INP Grenoble EFPG. Cerig. [En línea]. <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/tutoriel/non-tisse/page03.htm>. [Acceso: sep. 28, 2021].
- [56] J. Payen (feb. 10, 2019). “Materiales no tejidos”. Techniques del L’ingenieur. Vol. 1. [En línea]. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/procedes-textiles-42572210/materiaux-non-tisses-n4601/>. [Acceso: oct. 5, 2021].

- [57] M. P. Herrera Álvarez, *Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica formulados incorporando tejidos y no tejidos de fibras naturales*. Tesis de maestría, Facultad de ingeniería mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, 2015.
- [58] G. Iturralde. (s.f.), “Ingeniería de textiles, métodos de bondeado”. [En línea]. <https://gretheliturralde.wixsite.com/ingenieriadetextiles/mtodos-de-unin-para-nonwovens> [Acceso: oct. 28, 2021].
- [59] LCweb. (s.f.), “Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola”. [En línea]. http://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_ligantes/temp_anilloybola.html. [Acceso: oct. 29, 2021].
- [60] NVEVOLUTIA NONWVENS. (s.f.), “Spunlace”. [En línea]. <https://www.nvevolutia.com/tejido-spunlace/>. [Acceso: oct. 29, 2021].
- [61] F. L. Preciado Barrantes, G. D. Diaz Fonseca, *Diseño de una planta de producción de un producto sustituto del cuero elaborado a base de fibras de piña*, tesis de esp. Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital José Francisco de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019.
- [62] D. Gopalakrishnan. (s.f.), “Manufacturing of Needle Punched Nonwoven”. [En línea]. https://www.academia.edu/16765910/MANUFACTURING_OF_NEEDLE_PUNCHED_NONWOVEN. [Acceso: oct. 30, 2021].
- [63] J. Mumbrú. (feb. 08, 1971), “Utilizaciones de las telas no tejidas”. Conferencia pronunciada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Tarrasa, España. [En línea]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5945/Article04.pdf>. [Acceso: oct. 22, 2021]
- [64] Textiles Panamericanos. (feb. 07, 2014), “INDEX 14: Abundancia de Oportunidades para los No Tejidos”. [En línea] <https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2014/02/index-14-abundancia-de-oportunidades-para-los-no-tejidos/>. [Acceso: oct. 22, 2021].

- [65] PRODUCTOS PARA EL CUERO - Catálogo, Edición 2019. PielColor Trends Leather. Barcelona, España, 2019. [En línea]. <https://pielcolor.com/web/wp-content/uploads/2021/09/TDS-Interior-Espanol-2019.pdf> [Acceso: nov. 09, 2021].
- [66] J. Cueva, A. Hormaza, A. Merino. “Bagazo de caña de azúcar y su potencial aprovechamiento para el tratamiento de efluentes textiles”, *DYNA*, vol. 84, n°. 203, pp. 291-297, oct. 2017. [En línea]. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/61723>. [Acceso: oct. 15, 2021].
- [67] L. A. Troche Domínguez, *Producción de biogás a partir de residuos lignocelulósicos: Aplicación al bagazo*, España, Universidad de Valladolid, 2012.
- [68] Climate Data. (s.f.), “Clima Bogota (Colombia)”. Climate-Data.org. [En línea]. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/bogota/bogota-5115/> [Acceso: sep. 02, 2021].
- [69] Física Estadística y Termodinámica. (s.f.), “Medida de la presión de vapor del agua a bajas temperaturas” [En línea]. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/vapor/vapor.htm>. [Acceso: sep, 08, 2021]
- [70] TLV-Compañía Especialista en Vapor. (s.f.), “Calculadora: Tabla de Aire Saturado Húmedo”. [En línea]. <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/humid-air-table.html>. [Acceso: sep. 20, 2021].
- [71] N. Aguilar Rivera, *Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga*, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Córdoba, México, 2016.
- [72] Pallman, Depither Centurion, [En línea], Disponible: <https://produkte.pallmann.eu/katalog/downloads/Depither%20PMS%20Centurion58ef1694401101.27860766.pdf>, [Acceso, oct. 20, 2021]

- [73] Propal S.A. (jun. 25, 2013). Proceso de Producción - Carvajal Pulpa y Papel. [Archivo de vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=-FEOxnWex50&t=118s>
- [74] E. K. Roh, “Mechanical properties and preferences of natural and artificial leathers, and their classification with a focus on leather for bags”. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol. 15, pp. 1-10, 2020. DOI: 10.1177/1558925020968825. [En línea]. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1558925020968825>. [Acceso: nov. 09, 2021].
- [75] F. A. Ngwabebhoh, et al. “Preparation and Characterization of Nonwoven Fibrous Biocomposites for Footwear Components”. *Polymers*. Vol. 12. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12123016>. [En línea]. <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/12/3016> [Acceso: nov. 10, 2021]
- [76] D. R. Germán, et al., *Bagasse sugarcane fibers as reinforcement agents for natural composites: description and polymer composite applications*, Revista UIS ingenierías, Vol. 18, n.º 4, pp. 117-130, 2019. DOI: 10.18273/revuin.v18n4-2019011, [En línea], Disponible: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/9495/9876>, [Acceso, nov. 11, 2021].

ANEXO 1.

BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Balance de masa en la unidad de secado

Para el secado No. 1 se tienen en cuenta que la corriente 5 y 8 están compuestas de bagazo y agua únicamente, mientras que la corriente 7 será únicamente aire seco y la corriente 9 será aire y agua. Los datos adicionales se observan en la tabla 12.

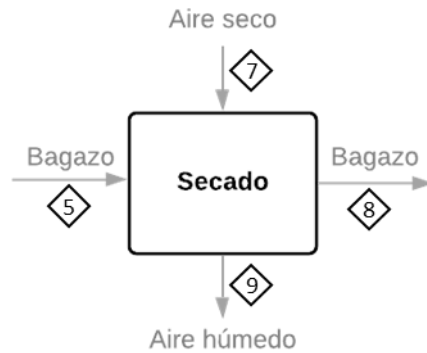


Tabla 12.

Flujo másico y fracciones másicas adicionales ya establecidos para realizar el balance de masa para las corrientes 5,7 y 8

m_5 [kg/h]	109,3942
X^5_{Bagazo}	0,5
X^5_{Agua}	0,5
X^8_{Agua}	0,16
X^8_{Bagazo}	0,84
$X^7_{\text{Aire-seco}}$	1
X^7_{Agua}	0

Nota. Valores que denominan corrientes de flujo másico y fracciones de flujos másicas, obtenidas de las suposiciones realizadas en el balance de masa (ver sección 4.8)

La composición de la corriente 5 se estima, ya que según los datos investigados el bagazo puede contener hasta el 50% de humedad absoluta (más aún si proviene de un proceso de lavado), la

composición de la contiene 8 se estima con base a las especificaciones de la siguiente unidad de proceso (desmedulado) en el cual se requiere de una humedad absoluta del 16% para el bagazo.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a resolver el balance por componente de la corriente donde transita el bagazo (5 y 8), por medio de la siguiente ecuación.

$$x_B^5 * \dot{m}_5 + x_B^7 * \dot{m}_7 = x_B^8 * \dot{m}_8 + x_B^9 * \dot{m}_9$$

Sustituyendo

$$0,5 * 109,3942 \frac{kg}{h} + 0 * \dot{m}_7 = 0,84 * \dot{m}_8 + 0 * \dot{m}_9$$

$$54,6971 \frac{kg}{h} + 0 = 0,84 * \dot{m}_8 + 0$$

$$54,6971 \frac{kg}{h} = 0,84 * \dot{m}_8$$

Resolviendo

$$\dot{m}_8 = \left(54,6971 \frac{kg}{h} \right) \div 0,84$$

$$\dot{m}_8 = 65,1156 \frac{kg}{h}$$

Para resolver el balance de masa para las corrientes donde transita aire (7 y 9), se necesita suponer que el aire que sale por la corriente 9 (aire húmedo) está saturado a la temperatura ambiente (en promedio en Bogotá 13 °C), en donde por medio de la carta psicométrica o por la calculadora de aire saturado húmedo a esas condiciones el aire tiene una humedad absoluta de 9,32%, por ende la composición del aire de la corriente nueve es del 90,68%.

Después para determinar el flujo de aire húmedo de la corriente 9 se debe tener en cuenta que en la corriente donde transita el bagazo se evaporo una fracción de agua, que obligatoriamente se transfiere a la corriente de salida del aire, la cual se estima por la siguiente ecuación.

$$x_A^9 * \dot{m}_9 = \dot{m}_5 - \dot{m}_8$$

$$x_A^9 * \dot{m}_9 = 109,3942 \frac{kg}{h} - 65,1156 \frac{kg}{h}$$

$$x_A^9 * \dot{m}_9 = 44,2786 \frac{kg}{h}$$

Como antes se mencionó el factor $X_A^9 * \dot{m}_9$ corresponde al 9,32% de la corriente, por ende se utiliza un factor de conversión para calcular el restante de la corriente, así:

$$\dot{m}_9 = 1 * \left(\frac{44,2789 \frac{kg}{h}}{0,0932} \right)$$

Resolviendo

$$\dot{m}_9 = 475,0922 \frac{kg}{h}$$

Para especificar todos los datos del balance de la corriente 9, se prosigue a determinar la fracción de aire en esta.

$$x_{Air}^9 * \dot{m}_9 = \dot{m}_9 * 0,9068$$

Resolviendo

$$x_{Air}^9 * \dot{m}_9 = 475,0922 \frac{kg}{h} * 0,9068$$

$$x_{Air}^9 * \dot{m}_9 = 430,8136 \frac{kg}{h}$$

Para finalizar el balance global de la unidad se necesita conocer la corriente de aire seco que entra a la misma (corriente 7), por lo tanto se le da solución despejando de la ecuación de balance global.

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9$$

Sustituyendo

$$109,3942 \frac{kg}{h} + \dot{m}_7 = 65,1156 \frac{kg}{h} + 475,0922 \frac{kg}{h}$$

Resolviendo

$$\dot{m}_7 = 65,1156 \frac{kg}{h} + 475,0922 \frac{kg}{h} - 109,3942 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_7 = 430,8136 \frac{kg}{h}$$

Para el secado No. 2 se tienen en cuenta que la corriente 14 y 17 están compuestas de bagazo y agua únicamente, mientras que la corriente 16 será únicamente aire seco y la corriente 18 será aire y agua. Los datos adicionales se observar en la tabla 13.

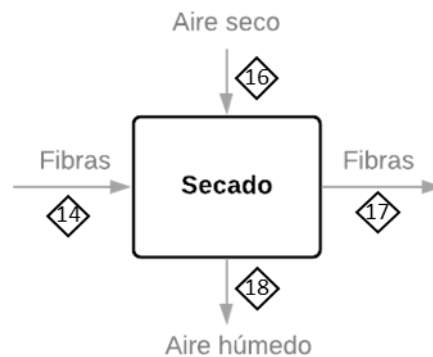


Tabla 13.

Flujo másico y fracciones másicas adicionales ya establecidos para realizar el balance de masa para las corrientes 14,16 y 17

m₁₄ [kg/h]	55,8431
X¹⁴_{Bagazo}	0,5
X¹⁴_{Agua}	0,5
X¹⁷_{Agua}	0
X¹⁷_{Bagazo}	1
X¹⁶_{Aire-seco}	1
X¹⁶_{Agua}	0

Nota. Valores que denominan corrientes de flujo másico y fracciones de flujos másicas, obtenidas de las suposiciones realizadas en el balance de masa (ver sección 4.8)

La composición de la corriente 14 se estima, ya que según los datos investigados el bagazo puede contener hasta el 50% de humedad absoluta (más aún si proviene de un proceso de lavado), la composición de la corriente 17 se estima con base a las especificaciones de la siguiente unidad de proceso (cardado) en el cual se requiere de una baja para realizar (como no se especifica cual debe ser esta humedad, se supone que es de cero, debido a que si esta no es la adecuada el proceso se pueda modificar sin aumentar en gasto de combustible).

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a resolver el balance por componente de la corriente donde transita el bagazo (14 y 17), por medio de la siguiente ecuación.

$$x_B^{14} * \dot{m}_{14} + x_B^{16} * \dot{m}_{16} = x_B^{17} * \dot{m}_{17} + x_B^{18} * \dot{m}_{18}$$

Sustituyendo

$$0,5 * 55,8431 \frac{kg}{h} + 0 * \dot{m}_{16} = 1 * \dot{m}_{17} + 0 * \dot{m}_{18}$$

$$27,9216 \frac{kg}{h} + 0 = 1 * \dot{m}_{17} + 0$$

$$27,9216 \frac{kg}{h} = 1 * \dot{m}_{17}$$

Resolviendo

$$\dot{m}_{17} = \left(27,916 \frac{kg}{h}\right) \div 1$$

$$\dot{m}_{17} = 27,9216 \frac{kg}{h}$$

Para resolver el balance de masa para las corrientes donde transita aire (16 y 18), se necesita suponer que el aire que sale por la corriente 18 (aire húmedo) está saturado a la temperatura ambiente (en promedio en Bogotá 13 °C), en donde por medio de la carta psicrométrica o por la calculadora de aire saturado húmedo a esas condiciones el aire tiene una humedad absoluta de 9,32%, por ende la composición del aire de la corriente nueve es del 90,68%.

Después para determinar el flujo de aire húmedo de la corriente 18 se debe tener en cuenta que en la corriente donde transita el bagazo se evapora una fracción de agua, que obligatoriamente se transfiere a la corriente de salida del aire, la cual se estima por la siguiente ecuación.

$$x_A^{18} * \dot{m}_{18} = \dot{m}_{14} - \dot{m}_{17}$$

$$x_A^{18} * \dot{m}_{18} = 55,8134 \frac{kg}{h} - 27,9216 \frac{kg}{h}$$

$$x_A^{18} * \dot{m}_{18} = 27,8918 \frac{kg}{h}$$

Como antes se mencionó el factor $X_A^{18} * \dot{m}_{18}$ corresponde al 9,32% de la corriente, por ende se utiliza un factor de conversión para calcular el restante de la corriente, así:

$$\dot{m}_{18} = 1 * \left(\frac{27,8918 \frac{kg}{h}}{0,0932} \right)$$

Resolviendo

$$\dot{m}_{18} = 299,2682 \frac{kg}{h}$$

Para especificar todos los datos del balance de la corriente 9, se prosigue a determinar la fracción de aire en esta.

$$x_{Air}^{18} * \dot{m}_{18} = \dot{m}_{18} * 0,9068$$

Resolviendo

$$x_{Air}^{18} * \dot{m}_{18} = 299,2682 \frac{kg}{h} * 0,9068$$

$$x_{Air}^{18} * \dot{m}_{18} = 271,3764 \frac{kg}{h}$$

Para finalizar el balance global de la unidad se necesita conocer la corriente de aire seco que entra a la misma (corriente 7), por lo tanto se le da solución despejando de la ecuación de balance global.

$$\dot{m}_{14} + \dot{m}_{16} = \dot{m}_{17} + \dot{m}_{18}$$

Sustituyendo

$$55,8134 \frac{kg}{h} + \dot{m}_{16} = 27,9216 \frac{kg}{h} + 299,2682 \frac{kg}{h}$$

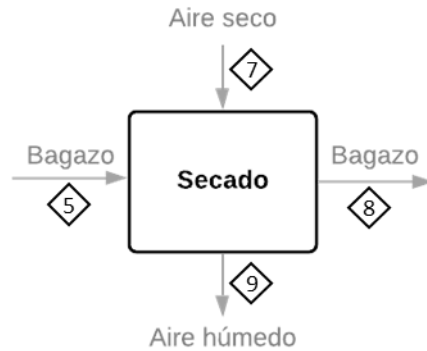
Resolviendo

$$\dot{m}_{16} = 27,9216 \frac{kg}{h} + 299,2682 \frac{kg}{h} - 55,8134 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{16} = 271,3764 \frac{kg}{h}$$

Balance de energía en la unidad de secado

Para el proceso de secado No. 1 se parte de la ecuación general de balance de masa.



$$Q = \dot{m}_8 * h^8 + \dot{m}_9 * h^9 - \dot{m}_5 * h^5 - \dot{m}_7 * h^7$$

Teniendo en cuenta que

$$h = \sum_{i=1}^c x_i * \int_{T_0}^T C_p * dT$$

Para ello es necesario contar con los parámetros de calor específico para cada sustancia, para este caso se utilizara valores puntuales evaluado a 25 °C, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14.

Calor específico a presión constante para cada materia prima requerida en el proceso

Materia Prima	Cp [kJ/kg*K]
Bagazo de caña de azúcar	8477,3929
Agua	4,22
Aire	1,005

Nota. Los datos de Cp para el agua y el aire fueron tomados de: Y. A. Cengel, Y. A, et al. (2003). *Termodinámica*, 4a ed. México, McGraw-Hill, 2003. El dato del Cp para el bagazo de caña de azúcar fue tomado de: R. V. Garcés Paz, S. V. Martínez Silva, “Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda”, Tesis Doctoral Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías. Especialización en Logística Empresarial, 2007, [En línea], Disponible: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/825/66288G215ep.pdf;jsessionid=55C36134B5E0E0F4A27BA6BE4382AFC?sequence=1>, [Acceso, dic. 15, 2021].

Continuando con los cálculos se procede a calcular la entalpía para cada corriente.

$$h^8 = 0,84 * \left(8477,3929 \frac{kJ}{Kg K} * (45\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right) + 0,16 * \left(4,22 \frac{kJ}{Kg K} * (45\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right)$$

$$h^8 = 142433,7047 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^9 = 0,0932 * \left(4,22 \frac{kJ}{Kg K} * (45\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right) + 0,9038 * \left(1,005 \frac{kJ}{Kg K} * (45\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right)$$

$$h^9 = 26,0325 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^5 = 0,5 * \left(8477,3929 \frac{kJ}{Kg K} * (13\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right) + 0,5 * \left(4,22 \frac{kJ}{Kg K} * (13\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right)$$

$$h^5 = -50889,6774 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^7 = 1 * \left(1,005 \frac{kJ}{Kg K} * (13\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}) \right)$$

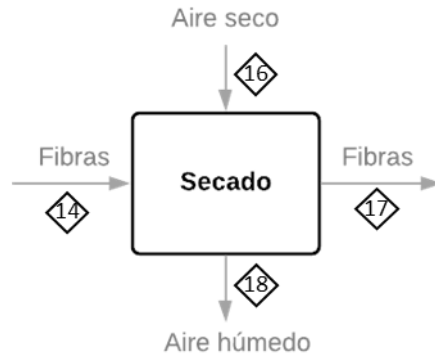
$$h^7 = -12,06 \frac{kJ}{Kg}$$

Finalmente el balance de materia se resolvería de la siguiente manera.

$$Q = \left(65,1156 \frac{kg}{h} * 142433,7047 \frac{kJ}{Kg} \right) + \left(475,0922 \frac{kg}{h} * 26,0325 \frac{kJ}{Kg} \right) - \left(109,3942 \frac{kg}{h} * -50889,6774 \frac{kJ}{Kg} \right) - \left(430,8136 \frac{kg}{h} * -12,06 \frac{kJ}{Kg} \right)$$

$$Q = 14859235,6 \frac{kJ}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 4127,5 kW$$

Para el proceso de secado No. 2 se parte de la ecuación general de balance de masa.



$$Q = \dot{m}_{17} * h^{17} + \dot{m}_{18} * h^{18} - \dot{m}_{14} * h^{14} - \dot{m}_{16} * h^{16}$$

Teniendo en cuenta que

$$h = \sum_{i=1}^c x_i * \int_{T_0}^T C_p * dT$$

Para ello es necesario contar con los parámetros de calor específico para cada sustancia, para este caso se utilizara valores puntuales evaluado a 25 °C, como se muestra anteriormente en la tabla 14.

Continuando con los cálculos se procede a calcular la entalpía para cada corriente.

$$h^{17} = 1 * \left(8477,3929 \frac{kJ}{Kg K} * (45^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right)$$

$$h^{17} = 169547,9 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^{18} = 0,0932 * \left(4,22 \frac{kJ}{Kg K} * (45^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right) + 0,9038 * \left(1,005 \frac{kJ}{Kg K} * (45^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right)$$

$$h^{18} = 26,0325 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^{14} = 0,5 * \left(8477,3929 \frac{kJ}{Kg K} * (13^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right) + 0,5 * \left(4,22 \frac{kJ}{Kg K} * (13^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right)$$

$$h^{14} = -50889,6774 \frac{kJ}{Kg}$$

$$h^{16} = 1 * \left(1,005 \frac{kJ}{Kg K} * (13^{\circ}C - 25^{\circ}C) \right)$$

$$h^{16} = -12,06 \frac{kJ}{Kg}$$

Finalmente el balance de materia se resolvería de la siguiente manera.

$$Q = \left(27,9216 \frac{kg}{h} * 169547,9 \frac{kJ}{Kg} \right) + \left(299,2682 \frac{kg}{h} * 26,0325 \frac{kJ}{Kg} \right) \\ - \left(55,8134 \frac{kg}{h} * -50889,6774 \frac{kJ}{Kg} \right) - \left(271,3764 \frac{kg}{h} * -12,06 \frac{kJ}{Kg} \right)$$

$$Q = 7585438,064 \frac{kJ}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 2107,0661 kW$$

ANEXO 2.

FICHAS TÉCNICAS/ ESPECIFICACIONES POR EQUIPO SELECCIONADO

Tamiz vibratorio

Overview

Quick Details

Applicable Industries:	Building Material Shops, Manufacturing Plant, Machinery Rep...	Showroom Location:	Thailand
Type:	LINEAR	Condition:	New
Place of Origin:	Henan, China	Application:	Chemicals
Voltage:	220V/380V	Brand Name:	Dahan
Weight:	300KG	Dimension(L*W*H):	2219*1320*960
Local Service Location:	Thailand	Warranty:	1 Year
Certification:	ISO9001:2008/CE	After-sales Service Provided:	Free spare parts, Online support, Video technical support, Fi...
Keyword:	Linear Vibration Screen	Product name:	China Industry Linear Vibration Screen Vibrating Screen
Motor:	Vertical Vibrating Motor	Types of Shape:	Square
RPM:	960r/min	Material:	Carbon Steel/ Stainless Steel 304
Double-amplitude:	5-7mm	Size of screen surface:	1000*2000
Customization:	available	Throughput:	0.11-20t/h

Molino de cuchillas

Modelos y características técnicas

Modelo	Motor H.P.	Cámara de molienda B x C (mm)	Largo de cuchillas "D" (mm)	Tolva de Alimentación "B" x "A" (mm)	Número de cuchillas		Producción (Kg/Hr)	Peso estimado (Kg)
					Rotativas	Fijas		
MCV 3020	3/5/7.5	300X200	300 (12")	300X200	3	2	50/100	300
MCV 6020	7.5/10/15	600X200	600 (24")	600X200	3	2	75/150	600
MCV 6040	20/30/40	600X400	600 (24")	600X400	3	2	200/400	1000
MCV 9040	30/40/60	900X400	900 (36")	900X400	3	2	300/600	1500
MCV 9060	40/60/75	900X600	900 (36")	900X600	3	2	450/900	2000
MCV 12060	75/100/150	1200X600	1200 (48")	900X600	3	2	750/1500	3000

Características técnicas

Manejo / uso	Reducción de Tamaño, Sizallamiento y Destrucción
Areas de aplicación	Agricultura, Alimentos, Medicina / Farnacia, Cosmetica, Plasticos
Tipo de material	Blando, Semiduro, Elástico
Principio de molienda	Corte
Granulometría inicial*	De acuerdo al producto
Granulometría final*	Normal (Malla 5)
	Malla 200 (Molienda Criogénica)
Velocidad	1750 – 350 RPM
Material de las herramientas de molienda	Cuchillas: Acero inoxidable / Acero D2
Duración de la molienda	Según tamaño de equipo y Producto a procesar
Operación por intervalos	Sí
Motor	Motor en serie de 3 a 100 HP
Potencia motriz	110, 220, 440 V
Conexión eléctrica	Voltajes diferentes
Alimentación de red	Monofásica, Bifásica, Trifásica 110 – 220 - 440
Tipo de protección	Cámara de molienda - motor con freno magnético

Máquina de cardado

Descripción general

Detalles rápidos

Industrias aplicables:	Hoteles en, Reparación de maquinaria tiendas, Las granjas, U...	Exposición de ubicación:	None
Video saliente de inspección:	Siempre	: Informe de prueba:	Siempre
Garantía de los componentes principales.:	1 año	Marketing tipo:	Nuevo Producto 2020
Uso:	Lana	Los componentes principales.:	PLC, Motor, Motor
Lugar del origen:	China	Condición:	Nuevo
Energía (W):	3kw	Grado automático:	Automática
Peso:	2000 KG	Voltaje:	220/380V
Garantía:	1 año	Dimensión (L*W*H):	2200*2100*1000mm
Después de servicio de garantía:	Video de apoyo técnico	Características:	Lana
		Materias primas:	Lana, Etc.
		Después de servicio de ventas se:	Libre de espaã a

Punzonadora

Descripción general

Detalles rápidos

Condición:	Nuevo	Grado automático:	Automática
Lugar del origen:	Shandong, China	Marca:	New haina
Voltaje:	380V	Energía (W):	7.5
Garantía:	1 año	Servicio postventa ofrecido:	Libre de espaã a
Certificación:	ce	Width:	2600mm---3000mm
Raw material:	all kinds fiber	Machine Type:	Needle Punched Geotextile
Capacity:	3--8 m/min		

Túnel de secado

Descripción [Detalles del producto](#)

Ficha técnica

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	220 V Monofásico
AJUSTE VELOCIDAD	Si
POTENCIA	4,8 Kw
ALTURA MÁXIMA DEL OBJETO	100mm.
FORMA DEL OBJETO	Plano, Ovals, Cilindricos, Cuadrados, Irregular
SISTEMA DE CURADO	IR
ANCHO DE LA BOCA DEL TÚNEL	750 Mm
AJUSTE TEMPERATURA	Si
DIMENSIONES CINTA	1800mx650 Mm (LxAxH)
LONGITUD ZONA DE SECADO	1000 Mm
LONGITUD TOTAL	1800 Mm
ALTURA DE PUNTO DE CARGA	850 Mm
ALTURA TOTAL	1280 Mm
DIMENSIONES TÚNEL	1810x1000x730 Mm (LxAxH)
TEMPERATURA	200 °C Ajustable
DIMENSIONES EMBALAJE	1900x1080x740 Mm (LxAxH)
PESO	150 Kg

Calandradora

Product Specification

Phase	Single Phase
Power Consumption	0.5-2 HP
Brand	Maxima Engineering
Material	Mild Steel
Production Capacity	15000 to 20000 Meter
Automation Grade	Automatic
Voltage	220V
Minimum Order Quantity	1

Cortadora



+48 697 530 240
+48 61 876 89 46
info@rexelpoland.com



MÁQUINAS REBOBINADORAS DE MEDICIÓN PARA TELAS PARA ESTORES ENROLLABLES CTRLR-3000

Principales características:

- La máquina está destinada a la medición automática y corte de trozos aleatorios de tela para estores enrollables y su bobinado al barril de cartón.
- Escáner de códigos de barra para introducción de datos.
- Impresora de códigos de barra para imprenta de etiquetas.
- Pantalla de iluminación para la comprobación de calidad de tela.
- El panel de operador está equipado con la pantalla táctil de alta calidad.
- El marco está elaborado de los perfiles de acero pintados con pintura en polvo.
- Al medir la longitud necesaria, el rodillo de abastecimiento y bobinado se paran y la cuchilla corta la tela de longitud necesaria.
- La velocidad de bobinado se puede regular suavemente.
- El panel de operador está instalado en el brazo oscilante para la comodidad de mantenimiento.
- El interfaz cómodo está disponible en polaco, inglés y ruso (otras lenguas bajo pedido).
- La máquina se podrá modificar bajo pedido.

Características técnicas:

- Anchura máxima de rollo: 2500 mm - 3000 mm
- Peso máximo de rollo: hasta 40 kg
- Diámetro máximo de rollo: hasta 300 mm
- Alimentación: 230 V
- Potencia: 0,6 kW




PALLMANN

Depither Centurion Type PMS

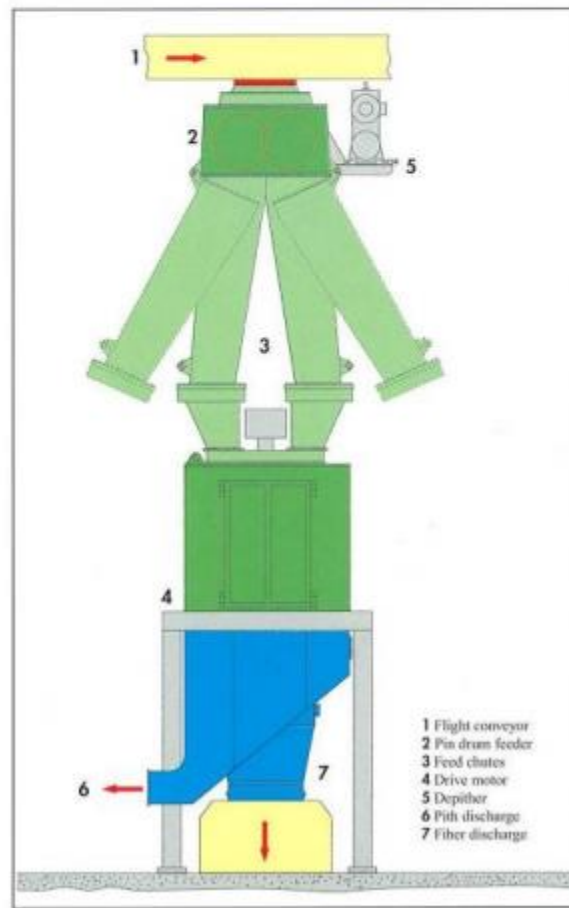
Technical Data

Type		PMS 6-600	PMS 8-800	PMS 10-1000	PMS 12-1200	PMS 14-1400	PMS 16-1600
Diameter of screen cylinder	mm	600	800	1000	1200	1400	1600
Height of screen cylinder	mm	750	1000	1250	1500	1750	2000
Drive motor	kW	75	110	160-200	250	315	400
Static load	kg	2500	3500	7100	7500	11000	17000
Capacity	t at/h	2,6	5,5	8,0	12,0	14,5	17,0

Dimensions [mm]

	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	1540	1540	1450	1900	1900	1760	2180	2180	2175
	2460	2460	2480	3030	3030	2875	3360	3360	3265

The throughput capacity of a depither is depending heavily on the type of bagasse, the degree of prebrodding in the sugar factory, the humidity of the bagasse, the condition of the wear parts installed in the machine, the opening of the screen cylinder and the required degree of depithing.



Because of the static load applied to the rotor by the feed material and because of continuing wear of the swing hammers unbalance can occur. Therefore the rotor is securely guided in the upper and the lower heavy bearing and is electro-dynamically balanced.

In case of an extreme unbalance due to heavy foreign matter entering into the machine, a special vibration control system automatically switches off the main drive motor.

Decisive advantages

- High throughput capacity
- Low specific energy consumption
- Dual bearing system, smooth, vibrationfree operation
- Optimum utilization of wear parts because of two operating directions
- Simple maintenance
- Easy exchange of wear parts
- Exchange of hammers without removal of rotor
- Easy and quick adaptation to different finished product requirements
- Separate discharge of fiber and pith

Fig. 1: Schematic of Depither

Fig. 2: Dual bearing system for rotor

Fig. 3: Depither with vertical motor support

Fig. 4: Depither PMS-12-1200

Fig. 5: Schematic Depither system

Máquina de lavado y secado por aspersión

Surfat, s.a.

MÁQUINA DE LAVADO Y SECADO, POR ASPERSIÓN EN MEDIO ACUOSO

Destinada a la limpieza y desengrase de piezas procedentes de mecanizado, estampación, etc..



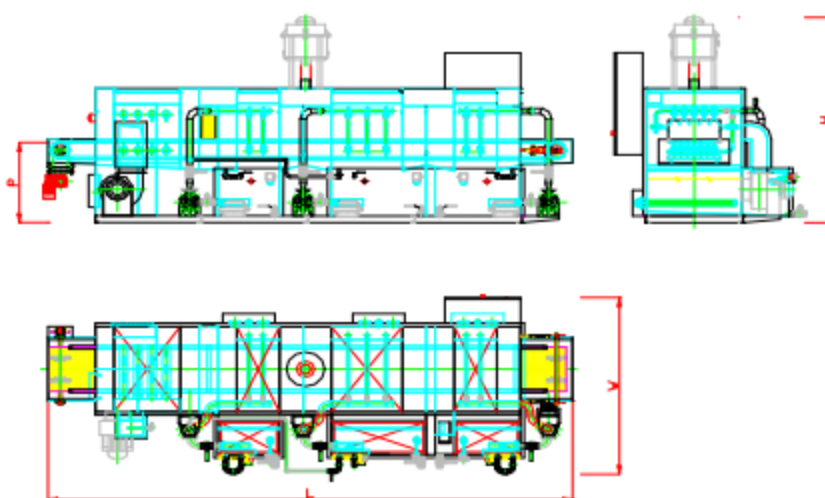
MODELO TUNNEL

- Lavado por aspersión
- Proceso de limpieza y secado en continuo
- Máquina automática
- Gran productividad
- Filtros de virutas
- Separadores de aceite

SURFAT, S.A. Pol. Ind. Castellbisbal Sud, c/ Farigola, 30 E-08755 Castellbisbal (Barcelona) Tel.: +34 937 723 444

- TUNNEL -

DIMENSIONES			
<i>TIPO</i>	<i>70/15-2</i>	<i>70/15-3</i>	<i>70/15-4</i>
<i>Longitud Total (L-mm)</i>	4.000	5.500	6.050
<i>Ancho Total (W-mm)</i>	2.200	2.200	2.200
<i>Alto Total (H-mm)</i>	1.580	1.580	1.580
<i>Altura plano de trabajo (P-mm)</i>	950	950	950
<i>Ancho de banda (mm)</i>	700	700	700
<i>Alto útil (mm)</i>	150	150	150
<i>Procesos de lavado (mm)</i>	<i>Lavado/secado</i>	<i>Lavado/enjuague/secado</i>	<i>Lavado/enjuague/pasturado/secado</i>



Máquina automática en continuo de lavado, desengrasado, fosfatado, aceitado, etc., por aspersión y con secado por aire caliente recirculado. Permite el lavado puntual en zonas críticas de cada pieza. Las zonas de carga y descarga se encuentran situadas en los extremos de la máquina.

La instalación se compone fundamentalmente de un túnel, un sistema de aspersión, un sistema de secado y un transportador sin fin adaptado a la pieza; para el transporte de la pieza puede emplearse cinta FIPLA para depositar las piezas, cadenas transportadoras, soportes especiales, etc.

Planta de gran producción que se emplea normalmente para la limpieza y desengrase de piezas estampadas ó mecanizadas que no se pueden tratar a granel y requieren secado.

SURFAT, S.A.
 Pol. Ind. Castellbisbal Sud
 C/ Farigola, 30
 Tel.: +34 937 723 444 Fax: +34 937 723 443
 E-08755 Castellbisbal
 e-mail: surfat@surf.es
 www.surfat.es

Acabado de rodillos

General data:

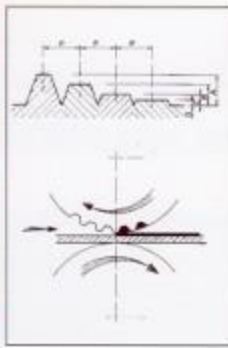
- Working width 1300-1600-1800-2000-2200-2400.
- Automatic lifting bridge and the possibility of fitting up to 4 rollers.
- Electronic control of the speed of the engraved roller and of the transport belt with digital indication of both on the control panel.
- Potentiometer controlled, continuously variable speed, from 4 to 40 m/min for engraved roller and from 2 to 20 m/min for conveyor belt.
- Centesimal variation of the thickness of work with digital indicator on control panel and electronically controlled through a potentiometer.
- Transport belt of special rubber with high resistance to oils and solvents.
- The belt bearing frame fold down under pneumatic control for synchro (direct) operation.
- Safety stops to prevent lowering of the belt under conditions of failure of the air supply.
- Pneumatic control of the self aligning oscillating doctor blades both in synchro and in reverse.
- The doctor blade assembly is easy and fast to dismantle for ease of

positioning from one end to the other of the engraved roller.

- The pipe systems for the distribution of the paint and for the washing of the roller are fixed directly to the doctor blade assembly and fitted with rapid action connectors.
- The washing tray is of stainless steel and the belt cleaning brush is easy to extract.
- The recycling tanks to the paint pump are in stainless steel.
- Rubber squeegee for the belt.
- Cleaning blade for the chromium plated roller, scraper to keep the inside of the belt always clean.
- Large tray at the base of the machine to minimise splashes.
- IP 55 electrical system.

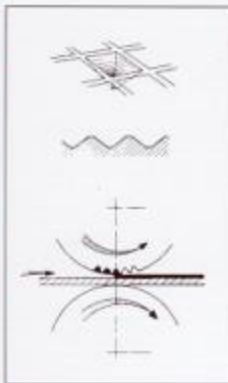
Optional:

- Heating system, to heat the cylinders by means of diathermic oil to facilitate the application of oils and waxes to the skins, with variable temperature up to 100 °C. This system consists of a heating unit complete with filter, pump driven by an electric motor, temperature control thermostat, rapid action couplings for connection to cylinders and heated paint recovery tray.
- Tank, heated by electrical resistors and fitted with thermostat to control the temperature of the wax during the preheating phase.
- Suction hood for solvents.
- Pigment mixing device for very dense or foamed products. This consists of a stemless pneumatic piston which can be fitted directly on to the doctor blade assembly.
- Guide tracks.
- Foam generator for Microfoam.
- Spreader for feeding soft leathers in synchro.



Reverse rollers for coating / Cilindri "Reverse"

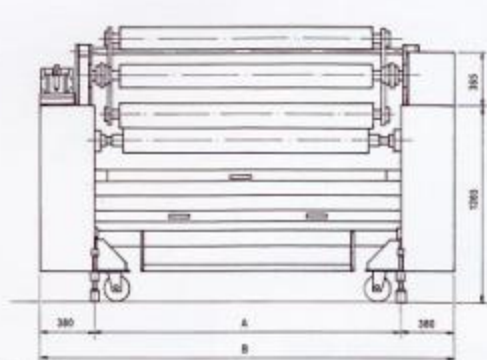
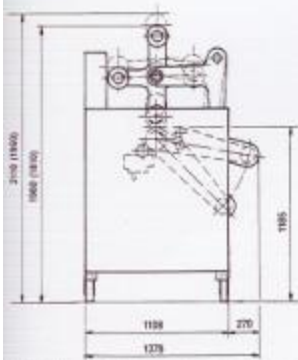
Type of rollers "Reverse" Tipo cilindri "Reverse"	Capacity gr/kg.ft. Portata gr/p.q.	Applications Campo di impiego
8B	33-40	Spreading of glue / Spalmatura di colle
10B	24-33	Heavy covering on splits / Coperture pesanti su croste
16C	18/27	Thick coverings / Coperture corpose
20B	15-25	Application of hot and cold and wax / Ingrassi a caldo e a freddo
20C	12-18	Thick impregnations-coverings / Impregnazioni-coperture corpose
30A	10-16	Coverings on splits and buffed leather / Coperture su croste e semrigliati
30X	8-12	
30C	5-10	Finishings on full grain / Rifiniture su fiore
30F	3-6	Application of laquer / Applicazione lacca
40F	1-2.5	Two-tone (multipoint) on heavy grain / Doppio tono (millepunti) grana grossa



Synchro rollers for lapping / Cilindri "Sinchro" (Millepunti)

Type of roller "Synchro" Tipo cilindri "Sinchro"	Capacity gr/kg.ft. Portata gr/p.q.	Applications Campo di impiego
6 L	14-18	Applications of resin and glue / Applicazioni di resine e colle
8 L	12-16	
10 L	10-14	Applications of hot and cold and wax / Ingrassi a caldo e a freddo
12 L	9-13	
16 L	6-9	Aniline dyeing / Tinture all'anilina
20 L	5-8	Light covering on full grain / Leggere coperture su fiore
24 L	4-7	Application of laquer / Applicazione di lacca
32 L	2-4	Two-tone (multipoint) on heavy grain / Doppio tono (millepunti) grana grossa
40 L	1-3	
48 L	1-2	Two-tone (multipoint) on light grain / Doppio tono (millepunti) grana fini
80 L	1	

These tables are purely indicative. The amount of product varies depending on the speed of work and on the viscosity of the product. The preparation of the hide is also important in determining the extent of absorption and, as a consequence, the weight of the material deposited. Questo tabella sono puramente indicative. La portata varia in base alla velocità di lavoro e alla viscosità del prodotto. La preparazione della pelle è altrettanto importante per la determinazione dell'assorbimento e di conseguenza del peso del materiale depositato.



WORKING WIDTH LUCE MACCHINA	A	B
1300	1615	2375
1600	1915	2675
1800	2115	2875
2000	2315	3075
2200	2515	3275
2400	2715	3475

Dimensions referred to machines with 3 rollers / Quote riferite a macchine con 3 cilindri.



TO KEEP AHEAD OF THE COMPETITION

Best performances and functional reliability of GE.MA.TA. machines can be guaranteed only with original spare parts. Solo con ricambi originali è garantita l'affidabilità funzionale e l'ottimizzazione delle prestazioni delle macchine GE.MA.TA.

GE.MA.TA. may have to modify the above data for technical or commercial reasons if so, all the customers will be accordingly informed. La GE.MA.TA. potrebbe essere costretta ad apportare alcune modifiche per ragioni di natura tecnica o commerciale. In tal caso provvederà ad informare opportunamente i clienti.

GE.MA.TA. S.p.A. - Via Rampa dell'Agno, 6 - 36070 Trissino (VI) Italy - Tel. 0445.490090 - Fax 0445.490111 - Telex 482175 GEMATA I
E-mail: gemata@assind.vi.it - http://www.zenit.com/gemata/

Scifapart Loc. Novembre 1998

ANEXO 3.

INFORME DEL ANÁLISIS BIBLIOMETRICO, REALIZADO A TRAVÉS DE SCOPUS

[View institutional website \(opens in a new window\)](#)



Scopus

[Search](#)

[Sources](#)

[Lists](#)

[SciVal](#)

[RDI - LUMIERES](#)



[Create account](#)

Analyze search results

[Back to results](#)

[Export](#)

[Print](#)

[Email](#)

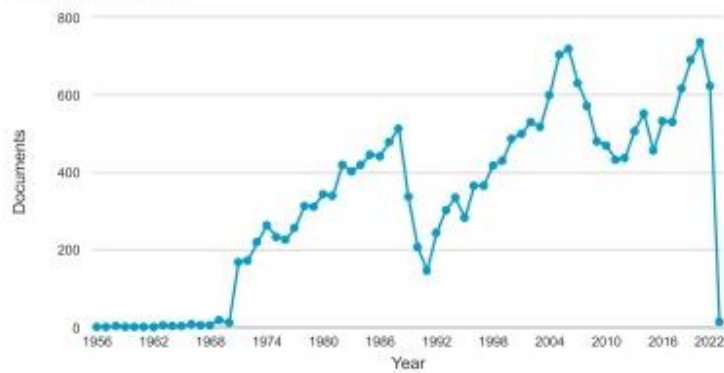
TITLE-ABS-KEY (nonwoven)

21,736 document results

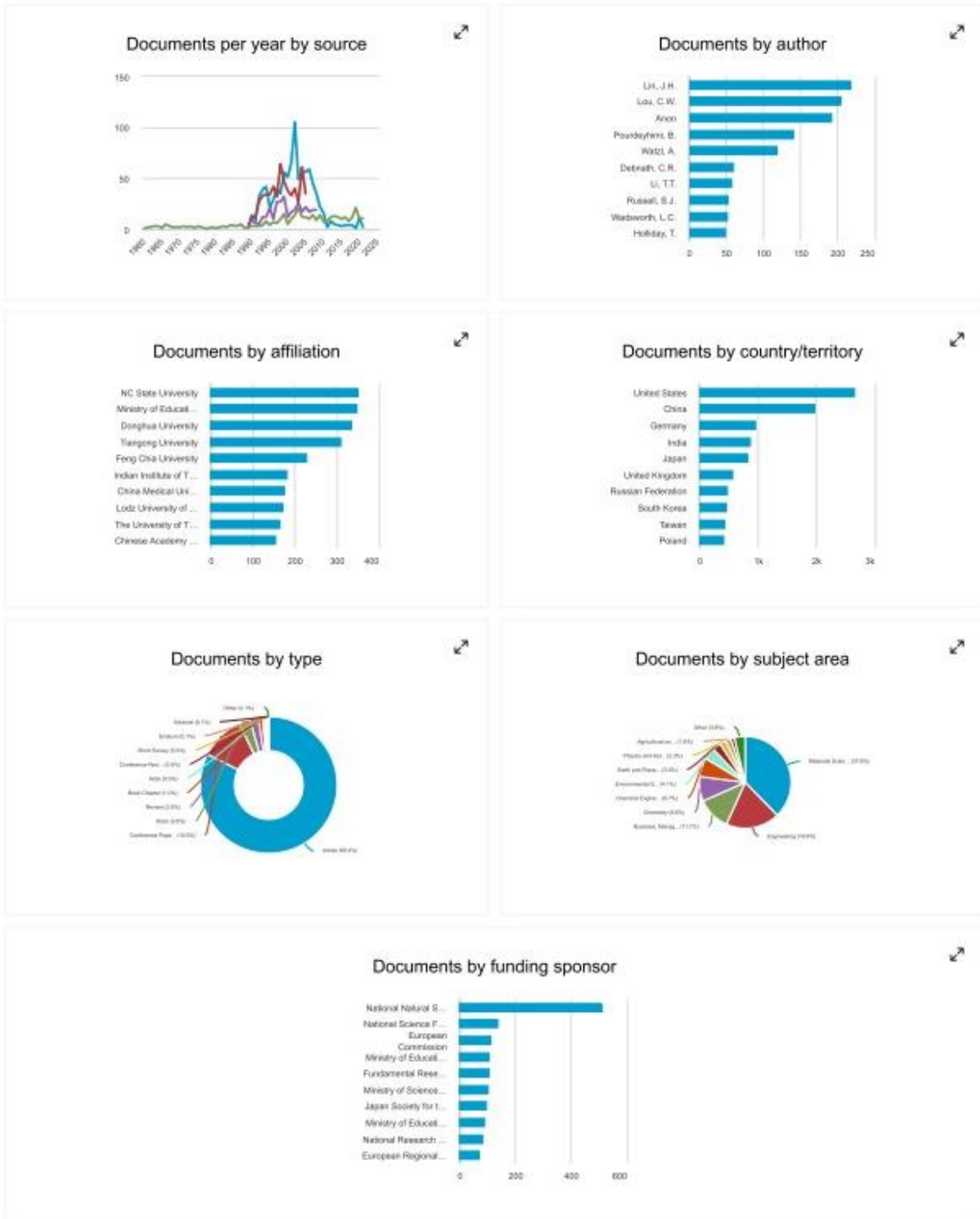
Select year range to analyze: 1956 to 2022 [Analyze](#)

Year ↓	Documents ↑
2022	13
2021	622
2020	734
2019	689
2018	615
2017	529
2016	531
2015	455
2014	550
2013	506

Documents by year



Click on cards below to see additional data.



About Scopus

- What is Scopus
- Content coverage
- Scopus blog
- Scopus API

Language

- 日本語に切り替える
- 切换到简体中文
- 切换到繁體中文
- Русский язык

Customer Service

- Help
- Contact us

ELSEVIER

[Terms and conditions ↗](#) [Privacy policy ↗](#)

Copyright © Elsevier B.V. ↗. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.
We use cookies to help provide and enhance our service and tailor content. By continuing, you agree to the use of cookies.



ANEXO 4.

TRABAJO EXPERIMENTAL ARTESANAL

En este numeral, se adjunta la evidencia experimental que se realizó para obtener el sustituto a base de fibras naturales de caña de azúcar propuesto, pero cabe resaltar que es un proceso muy artesanal que se efectuó en casa.

En la figura 39 se puede observar el trapiche de donde se obtuvo el bagazo de caña de azúcar, el cual está ubicado vía mesitas (el triunfo-viotá).

Figura 39.

Trapiche ubicado en la vía Viotá Cundinamarca



Nota. En las tres imágenes puede visualizarse el trapiche en distintos ángulos, en la imagen izquierda puede verse la caldera, en la imagen central se observa el bagazo de caña acumulado seco y en la imagen derecha se puede ver el bagazo de caña después de haber pasado del trapiche.

Después de obtener el bagazo, se procedió a desmesurarlo, se hizo cuando este estaba húmedo de forma manual, y para continuar el proceso se dejó secar al ambiente durante tres semanas, este proceso se refleja en la figura 40.

Figura 40.

Desmedulado del bagazo de caña de azúcar y secado de la corteza del bagazo



Nota. En la imagen izquierda puede verse la separación entre la medula del bagazo almacenado en bolsas y la corteza almacenada en baldes, en la imagen derecha puede verse la corteza del bagazo puesta al ambiente para su proceso de secado.

Pasado las tres semanas, cuando el bagazo se veía más seco, se prosiguió a cortarlo de tal manera que al ingresarlo a la licuadora, esta pueda molerlo y así obtener las fibras, como se ve en la figura 41.

Figura 41.

Pulpado de la corteza del bagazo de caña de azúcar



Nota. En la imagen superior izquierda se puede ver el bagazo cortado en trozos pequeños, en la imagen superior derecha junto con la imagen inferior izquierda puede verse la molienda de la corteza a través de la licuadora y en la imagen inferior derecha puede verse el resultado final de la molienda de la corteza.

Para seguir con el proceso planteado en el documento, las fibras deben cardarse para formar el velo no tejido, pero al no disponer de una cardadora, la formación del velo se realizó por vía húmeda, donde las fibras se mezclan con agua para después filtrar el agua y secar el resto de esta. Ya realizado el velo se procede a realizar el proceso de rociado de resinas (las cuales se obtuvieron de la empresa Sortercueros), pero en este caso se fijan las resinas por medio de un secado al aire libre, lo anterior puede verse en la figura 42.

Figura 42.

Proceso de formación del velo de fibras y termofijación, acabado del sustituto



Nota. En las imágenes superior izquierda y superior central puede observarse el proceso de pulpado junto con las resinas a utilizar mientras que en la imagen superior derecha puede verse el velo de fibras con la resina base, en la imagen inferior izquierda se ve el velo de fibra ya con el compactante y el pigmento rociado sobre él, en la imagen inferior central se observa ya el sustituto termofijado y en la imagen inferior derecha el sustituto finalizado.

Aproximadamente se agregó una mezcla de 100 g por cada capa de resina aplicada en el velo no tejido (capa de resina de fondo, capa de compacto más colorante y capa de resina TOP); cuando la mezcla de resina se secó, se obtuvo el sustituto propuesto, el cual si tenía flexibilidad, buen color y textura superficial, pero al aplicarle una fuerza de tracción (manual) este no resistió mucho y se rasgó, además el no tejido quedó débil (ya que no se hizo un proceso de fijación), por ende algunas fibras se desprendieron del sustituto (añadiendo a la débil interfaz en algunas áreas del sustituto propuesto).

ANEXO 5.

RECOMENDACIONES

Para determinar si el proceso planteado teóricamente es factible, se recomienda que este se realice experimentalmente a pequeña y gran escala, con el fin de conocer las propiedades fisicoquímicas y mecánicas que este posee, para poder realizar posibles mejoras y ajustes al proceso, condiciones de operación y maquinaria, entre otros.

Se recomienda realizar pruebas de laboratorio para determinar la composición de las fibras de caña de azúcar para diagnosticar que tan aptas pueden ser para el proceso.

A través de la investigación determinar si es factible el uso de mezclas con otro tipo de fibras naturales que permitan mejorar la calidad del no tejido, de tal forma que se pueda elaborar un sustituto con diferentes tipos y composiciones de fibras, haciendo de este un proceso más flexible.

Con el fin de hacer que el proceso sea más sostenible, la generación de corrientes que no son reintegradas al proceso como por ejemplo el agua utilizada en las operaciones de lavado y secado, se sugiere que para la construcción de la planta se haga el debido tratamiento de agua con el fin de recircular esta corriente y evitar el excesivo gasto de agua en procesos posteriores. Cabe resaltar que esta acción podría generar más gastos económicos al proceso, sin embargo, son gastos que valen la pena implementar. Por otro lado, los residuos generados como la médula (o meollo) se pueden reintegrar al proceso con el fin de suplir el gasto de energía en las diversas maquinarias implementadas en el proceso, o también hacerlas llegar a industrias azucareras que convierten este tipo de residuos en combustible útil.