

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL MEZCLADO DE  
UNA DISPERSIÓN CO-POLIMÉRICA DE VINIL ACETATO Y ÉSTER ACRILICO  
CON RESIDUOS SOLIDOS DE CUERO.**

**DANNY GUILLERMO CAÑAS ROJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**BUCARAMANGA**

**2011**

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL MEZCLADO DE  
UNA DISPERSIÓN CO-POLIMÉRICA DE VINIL ACETATO Y ÉSTER ACRILICO  
CON RESIDUOS SOLIDOS DE CUERO.**

**DANNY GUILLERMO CAÑAS ROJAS**

**Trabajo de grado en modalidad de práctica investigativa, presentado para la  
gerencia de PSL PROANALISIS LTDA, requisito para optar al título de:**

**Ingeniero químico**

**Director:**

**Ph.D MARIO ALVAREZ CIFUENTES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**BUCARAMANGA**

**2011**

## *Dedicatoria*

*A Dios que me dio la salud y el vigor suficiente para terminar esta etapa de mi vida y continuar con los obstáculos y retos que vienen.*

*A mi familia y en especial a mi mamá que con su verdadero amor de madre, me dio la fuerza necesaria que un hijo y un hombre necesita para su realización. A mi tía Alicia por su ayuda desinteresada*

*A todos los profesores que contribuyeron de alguna forma en mi formación y a la solución de todas las dudas que trajo el desarrollo de este proyecto.*

*A la universidad Santo Tomas por su ayuda humanitaria e incondicional.*

*Danny Guillermo Cañas R.*

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	14
<b>1. CONCEPTOS TEÓRICOS</b>	15
1.1 PROCESO DE CURTIDO DEL CUERO	15
1.1.1 Etapas principales del proceso de curtido	15
1.1.1.1 Ribera	15
1.1.1.2 Curtido	15
1.1.1.3 Acabado	16
1.2 SECTOR DEL CUERO EN COLOMBIA	16
1.3 RUTAS PROPUESTAS PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CUERO	16
1.4. AGLOMERANTES DE FIBRAS	17
<b>2. DESARROLLO METODOLOGICO</b>	18
2.1 MATERIALES	18
2.1.1 Materia prima	18
2.1.2. Reactivos y equipos	18

2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	18
2.2.1. Ensayos preliminares y diseño de tratamientos	19
2.2.2. Protocolo propuesto de obtención de láminas de cuero recuperado	20
2.2.3. Caracterización de las láminas de cuero recuperado	20
2.2.4. Análisis estadístico de datos	21
2.2.5. Estimación preliminar de costos de las láminas de cuero recuperado	21
<b>3. RESULTADOS Y ANALISIS</b>	<b>22</b>
3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	22
3.1.1. Ensayos preliminares y diseño de tratamientos	22
3.1.2 Obtención de las láminas de cuero recuperado.	24
3.1.3 Caracterización de las láminas de cuero recuperado.	25
3.1.4 Análisis estadístico de los datos	29
3.1.5. Estimación preliminar de costos de las láminas de cuero recuperado	35
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>36</b>
<b>5. RECOMENDACIONES</b>	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Etapas del desarrollo metodológico.	19
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de diagrama Esfuerzo Vs. Deformación de las láminas obtenidas en los ensayos preliminares.	23
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de diagrama Fuerza Vs. Extensión de las láminas obtenidas en los ensayos preliminares.	23
<b>Figura 4.</b> Lamina de cuero obtenida.	25
<b>Figura 5.</b> Probetas acondicionadas.	25
<b>Figura 6.</b> Resistencia a la tensión de las láminas de cuero recuperado, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones.	26
<b>Figura 7.</b> Resistencia al desgarre de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones.	27
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de compresibilidad de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los 16 ensayos realizados bajo distintas condiciones.	28
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de absorción de agua de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones.	29
<b>Figura 10.</b> Grafica de Pareto para el análisis de la resistencia a la tensión.	30

<b>Figura 11.</b> Grafica de Pareto para el análisis de la resistencia al desgarre.	30
<b>Figura 12.</b> Efecto causado entre la temperatura y la relación aglomerante / cuero.	31
<b>Figura 13.</b> Grafica de Pareto para el análisis del porcentaje de compresibilidad.	32
<b>Figura 14.</b> Efecto de los factores sobre el porcentaje de compresibilidad.	32
<b>Figura 15.</b> Grafica de Pareto para el análisis del porcentaje de absorción de agua.	33

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Propiedades mecánicas de una plantilla de zapato	22
<b>Tabla 2.</b> Variables o factores controlables del diseño experimental.	24
<b>Tabla 3.</b> Notación geométrica del diseño de experimentos	25
<b>Tabla 4.</b> Mejor combinación entre factores para los niveles estudiados	34
<b>Tabla 5.</b> Costo de equipos para procesar 1000 kg/día.	49
<b>Tabla 6.</b> Servicios industriales del proceso	50
<b>Tabla 7.</b> Costos totales para el primer año de producción	51

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Equipos utilizados en la experimentación	41
<b>ANEXO B.</b> Protocolo propuesto de obtención de láminas de cuero recuperado y maquina universal de ensayos mecánicos.	42
<b>ANEXO C.</b> Probetas cortadas para su posterior caracterización.	43
<b>ANEXO D.</b> Láminas de cuero recuperado obtenida en los ensayos preliminares.	44
<b>ANEXO E.</b> Lámina de cuero recuperado después de la selección de las variables del proceso y probetas de plantilla caracterizadas.	45
<b>ANEXO F.</b> Láminas de cuero recuperado después de su respectiva caracterización.	46
<b>ANEXO G.</b> Modelos matemáticos planteados para cada una de las variables de respuesta.	47
<b>ANEXO H.</b> Estimación preliminar de costos por unidad de área de las láminas de cuero recuperado.	49

## RESUMEN

**TITULO: EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL MEZCLADO DE UNA DISPERSIÓN CO-POLIMÉRICA DE VINIL ACETATO Y ÉSTER ACRILICO CON RESIDUOS SOLIDOS DE CUERO.\***

**AUTOR: Danny Guillermo Cañas Rojas\*\***

**Palabras claves:** Cuero, laminas, retal, reciclaje, aglomerados, materiales, fibras.

El objetivo de este trabajo consistió en el desarrollo de un diseño experimental que permitiera evaluar las condiciones de operación del proceso de obtención de láminas de cuero recuperado con un aglomerante.

Para llevarlo a cabo, Inicialmente se hicieron pruebas preliminares de obtención del material, para seleccionar las variables del proceso que más afectaban las condiciones finales de la lámina de cuero recuperado. Luego se realizó un diseño de experimentos tipo  $2^k$  donde  $k=4$  variables, correspondiente al porcentaje en peso de agua, relación másica de aglomerante / cuero, presión y temperatura de curado. Se procedió a la obtención del material y su posterior caracterización, midiendo resistencia a la tensión, porcentaje de compresibilidad, resistencia al desgarre y porcentaje de absorción de agua. Como resultado se obtuvo que los factores principales que optimizan, las variables de respuesta en los niveles estudiados son: la temperatura de curado en el nivel bajo y la cantidad de aglomerante en el nivel alto, mientras que para el porcentaje de absorción de agua también fue significativo la cantidad de agua agregada durante el proceso.

Se compararon las características del material obtenido, con las características de las plantillas para zapatos y se obtuvieron resultados superiores de resistencia al desgarre, porcentaje de compresibilidad y porcentaje de absorción de agua. Por último se concluyó que a través de la implementación del proceso de reciclaje de cuero sugerido en el trabajo, se obtuvieron láminas de cuero recuperado, cuyas propiedades permitirían tener aplicación industrial.

---

\* Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de ingeniería Química. Director: Profesor Ph. D Mario Álvarez Cifuentes, Lector UIS: Profesora Ph. D Sonia Giraldo

## ABSTRACT

**TITLE: EVALUATION OF OPERATING CONDITIONS IN THE MIXING OF A CO-POLYMER DISPERSION VINYLACETATE AND ACRYLIC ESTER WITH SOLID WASTE LEATHER.\***

**AUTHOR:** Danny Guillermo Cañas Rojas\*\*

**KEY WORDS:** Leather, sheets, scrap, recycling, agglomerates, materials, fibers.

The objective of this work was to develop an experimental design that allowed the evaluation of the operating conditions in the process of obtaining reconstituted leather sheets with an agglomerating agent.

In order to carry out this work, preliminary tests were conducted initially to obtain the material, to select the process variables that affected the final conditions of the reconstituted leather sheet. This was followed by a type  $2^k$  experimental design where  $k = 4$  variables which correspond to the weight percentage of water, mass ratio of agglomerating agent / leather, pressure and curing temperature. After this, the next step was to obtain the material and his subsequent characterization by measuring tensile strength, compressibility percentage, slit tear resistance and water absorption percentage. It was observed that the main factors that optimize the response variables, at the levels studied, are: the curing temperature in the low level and the amount of agglomerating agent in the high level, while for the water absorption percentage, the amount of water added during the process was also significant.

The characteristics of the obtained material were compared with the typical characteristics of shoe insoles. The results for tear resistance, compressibility and water absorption percentage were superior to those of the insoles. Finally it was concluded that, through the implementation of the recycling process suggested in this work, reconstituted leather sheets were obtained with properties that allow their industrial application.

---

\* Professional Degree Work.

\*\*Faculty of Physical Chemistry Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Profesor Ph. D Mario Álvarez Cifuentes, Reviewer UIS: Profesor Ph. D Sonia Giraldo

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el relleno sanitario de Bucaramanga, se botan 800 toneladas de basura por día, de las cuales el 2 % corresponde a residuos sólidos de cuero [1] dando como resultado, cerca de 480 toneladas mensuales de residuos de cuero.

En este trabajo se plantea una alternativa de obtención de un material fibroso a partir de residuos sólidos de cuero, con el fin de preservar los recursos naturales y minimizar las cargas de residuos sólidos por parte de la industria de zapatos y curtimbres. También se comparó las características del material obtenido, con las características de una plantilla para zapatos, con el fin de buscar si se puede reemplazar el material utilizado para fabricar plantillas por las láminas de cuero recuperado. Diferentes trabajos se han llevado a cabo, para el reciclaje de residuos sólidos de cuero, como es el caso de Yanik *et al.*, [3], que estudiaron el rendimiento de la pirolisis de residuos de cuero.

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar las condiciones de operación del mezclado y prensado de residuos sólidos de cuero con un aglomerante a partir de un diseño experimental. Como resultado, se determinó el efecto de las variables seleccionadas en el diseño sobre una variable de respuesta. Para llevarlo a cabo, se realizaron pruebas preliminares con el fin de seleccionar las variables del diseño. Luego se realizó un diseño de experimentos tipo  $2^k$  donde  $k=4$  variables correspondiente al porcentaje en peso de agua, relación másica de aglomerante/cuero durante el mezclado, y presión, y temperatura de curado durante el prensado. Se tomaron dos niveles en las variables durante el diseño, alto y bajo. Se procedió a la obtención del material de acuerdo al diseño y su posterior caracterización, midiendo tensión, porcentaje de compresibilidad, desgarre y porcentaje de absorción de agua. También se propuso un análisis económico preliminar del costo por unidad de área de cuero reciclado.

## **1. CONCEPTOS TEÓRICOS**

En el presente capítulo se mostrará aspectos generales del proceso empleado en la curtición del cuero, la situación de Colombia con respecto a la producción de cuero y los estudios planteados en la literatura para el tratamiento de residuos sólidos de cuero.

### **1.1. PROCESO DE CURTIDO DEL CUERO**

El proceso de curtido consiste en transformar la piel de animal en cuero. Este se puede llevar a cabo de forma mineral, vegetal o sintética. De forma mineral, se emplea sales minerales de cromo, magnesio, zirconio y aluminio, mientras que de forma vegetal se utilizan taninos vegetales. En el curtido sintético, se usan agentes curtientes a base de formol. De las tres rutas de curtición, el curtido mineral resulta ser el más eficiente respecto a la reducción del tiempo de procesamiento [4].

#### **1.1.1. Etapas principales del proceso de curtido**

##### **1.1.1.1. Ribera**

El objetivo de la ribera es limpiar y preparar la piel para facilitar la etapa del curtido. Primero se deja la piel en remojo para la eliminación de la suciedad, se procede a agregar sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y cal para eliminar el pelo y se lava para eliminar los residuos de cal y sulfato de sodio. Luego se realiza el descarnado por eliminación mecánica y se le agregan solventes para el desengrase. Reyes [2] encontró que por cada 1000 kg de piel terminada, el consumo total de agua en esta etapa es de  $166 \text{ m}^3$  y el consumo total de insumos es de 6550 kg.

##### **1.1.1.2. Curtido**

Esta operación comprende la estabilización del colágeno de la piel utilizando un agente curtiente, tal como sales de cromo, convirtiendo las pieles en materiales fuertes y resistentes a la putrefacción. Finalmente, se divide el lado flor de la piel.

### **1.1.1.3. Acabado**

En esta etapa el objetivo es dar las características y modificar las propiedades de la piel curtida modificándoles el espesor y los pigmentos característicos que traen de las etapas anteriores. Reyes también encontró que en la etapa de curtido y acabado se gastan 22 m<sup>3</sup> y 116 m<sup>3</sup> de agua, respectivamente.

## **1.2. SECTOR DEL CUERO EN COLOMBIA**

En el país el sector de cuero se encuentra dividido en tres grandes grupos que corresponde a la industria del calzado, marroquinería y productora de cuero. Para el 2010, la producción y ventas totales para calzado registran un crecimiento del 14,2% y 16,3%, respectivamente con respecto al año anterior. En cuanto a la marroquinería, según el DANE en el 2010, se observó un crecimiento en la producción y ventas de 17,4% y 13,2% respectivamente. Las exportaciones e importaciones registran crecimientos de 22% y 26%, respectivamente comparado al año anterior. La industria productora de cuero obtuvo un crecimiento en el 2010 respecto al 2009, en producción y ventas, con un 10,5% y 10,7%, respectivamente, al igual que las importaciones de cuero durante el 2010 ascendieron al 7% respecto al año anterior [5].

## **1.3. RUTAS PROPUESTAS PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CUERO**

Se han planteado en diferentes partes del mundo algunos métodos para el tratamiento de residuos sólidos de cuero, uno de ellos fue la investigación desarrollada por Yanik *et al.* [3] quienes determinaron el rendimiento del proceso de pirólisis de residuos de cuero obteniendo residuos carbonosos. Estos residuos fueron utilizados para hacer carbón activado. Kindlein *et al.* [6] obtuvieron láminas

de cuero a partir de la unión de capas de retal de cuero usando técnicas de fusión en caliente. Por otra parte, Dimiter [7] patentó en 1981 el pulverizado y mezclado de fibras de cuero junto con una resina fundida de vinil acetato de etilo en una relación del 25 % en peso obteniendo láminas de cuero recuperado con alta resistencia al impacto, estabilidad eléctrica y permeabilidad. Posteriormente, Henke [8] mezcló fibras de cuero con un aglomerante disuelto en solvente, utilizando malla de refuerzo entre las fibras y una pasta de policloruro de vinilo obteniendo láminas de cuero reciclado en el extrusado, con flexibilidad y resistencia a la tensión similares a las del cuero real.

Da Fonte y Pincho [9] trituraron residuos de cuero y los mezclaron con resinas aminoplasticas en una proporción de 30 a 40% en peso utilizando catalizadores y llevando a cabo el curado sobre una prensa de calor, mientras que Addie y Falls [10] obtuvieron láminas de cuero reciclado siguiendo la metodología de Da Fonte y Pincho utilizando durante el mezclado, 20% en peso de aglomerante e incorporando agua al proceso sin el uso de catalizadores.

#### **1.4. AGLOMERANTES DE FIBRAS**

Los aglomerantes más utilizados para entrelazar fibras de cuero y textiles están diseñados a base de monómeros acrílicos [11]. Estos monómeros pueden ser polimerizados con otros ingredientes orgánicos e inorgánicos para formar películas de látex confiriendo propiedades físicas tales como, adhesión y estabilidad a las fibras mezcladas con este aglomerante. Existen otros tipos de adhesivos, tales como policloruro de vinilo (PVC) utilizados para laminado de tableros [14] a base de urea y formaldehído cuya aplicación se introdujo en 1937 como adhesivo de papel, [13]. Para el caso estudio, se utilizó un aglomerante de vinil acetato y ester acrílico, debido a que los adhesivos acrílicos son solubles en agua [12] y los monómeros de vinil acetato tienen bajos puntos de inflamación que facilitan su manipulación, siendo de las principales materias prima para adhesivos [14].

## **2. DESARROLLO METODOLOGICO**

En este capítulo se presenta el proceso de obtención de las láminas de cuero recuperado, el diseño experimental tipo  $2^k$  utilizado, los equipos, insumos y los ensayos mecánico que se le hicieron al material obtenido.

### **2.1 MATERIALES**

#### **2.1.1 Materia prima**

El desarrollo del trabajo se limitó en la utilización de retal de cuero desechado por la industria de calzado y marroquinería. Este desecho consta de distintos tipos de cuero de acuerdo al terminado y acabado que traiga del proceso de curtido y de acuerdo a los distintos tipos de cuero que la industria utilice.

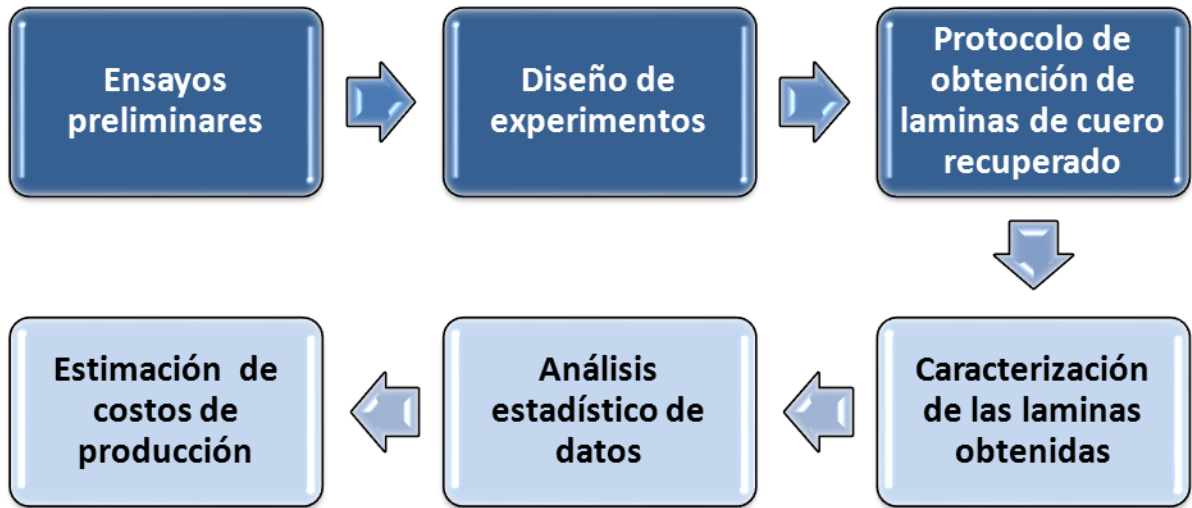
#### **2.1.2. Reactivos y equipos**

En el ANEXO A se presentan los equipos usados durante el procedimiento experimental del presente trabajo. Entre los reactivos, se encuentra el aglomerante utilizado a base de vinil acetato y éster acrílico, con el nombre comercial de RESIFLEX 741 suministrado por la empresa PREFLEX S.A. También se utilizó agua durante el mezclado y agua destilada para las pruebas de absorción de agua al material obtenido.

### **2.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Teniendo en cuenta los trabajos anteriores [7, 8, 9,10] que describen los tratamientos de residuos de cuero, se realizaron las etapas mostradas en la figura 1.

**Figura 1.** Etapas del desarrollo metodológico.



**Fuente:** El autor.

### **2.2.1. Ensayos preliminares y diseño de tratamientos**

Se planteó un diseño de tratamientos de tipo factorial  $2^k$  donde  $k$  factores corresponde al número de variables controlables del proceso de mayor influencia en las variables de respuesta [15]. Se estudiaron dos niveles en cada uno de los factores seleccionados, alto (+1) y bajo (-1). Se llevaron a cabo ensayos preliminares con el fin de poder apreciar cuales eran las variables más influyentes en el aspecto final de las láminas de cuero que permitieran ser caracterizadas. Se modificó el espesor, la presión, temperatura de curado, cantidad de aglomerante, cantidad de agua, tiempo de mezclado, tiempo de prensado y se modificaron los niveles de operación de cada una de las variables anteriormente mencionadas.

Las variables seleccionadas fueron: presión de curado, temperatura de curado, relación másica de aglomerante/cuero y porcentaje en peso de agua. El resultado del diseño arrojó 16 tratamientos en investigación.

En este trabajo, se llevaron a cabo 2 réplicas. Cada replica consta de 16 tratamientos y cada tratamiento se tomó de forma aleatoria.

### **2.2.2. Protocolo propuesto de obtención de láminas de cuero recuperado**

En el ANEXO B se muestra el proceso de obtención de láminas de cuero recuperado. Un resumen se muestra a continuación:

- Se llevan los residuos de cuero al molino pulverizador hasta ser reducido a fibras de cuero de 2 mm de tamaño de partícula.
- Se pesa el agua y la cantidad de aglomerante de acuerdo a las relaciones estipuladas y se llevan al mezclador junto con las fibras de cuero molidas hasta que la mezcla quede perfectamente homogénea.
- Esta mezcla se coloca sobre moldes previamente calentados a la misma temperatura de curado. También se utilizó un desmoldante de papel aluminio para facilitar el desmolde después del prensado.
- Se coloca el molde cargado sobre la prensa y se lleva a condiciones de operación, durante 15 minutos.
- Se libera el molde de la carga sometida, se desmolda la lámina de cuero y se deja enfriar a temperatura ambiente. Por último, se limpia el molde y se cambia el desmoldante para repetir el procedimiento con otra formulación.

### **2.2.3. Caracterización de las láminas de cuero recuperado**

Las láminas de cuero recuperado fueron caracterizadas bajo las normas ASTM. Se realizaron pruebas de absorción de agua en condiciones estáticas y ensayos mecánicos de resistencia a la tensión, resistencia al desgarre y resistencia a la compresión en la máquina de ensayos universales AUTOGRAPH 1250 AG-1 SHIMADZU, de la universidad Santo Tomas (Bucaramanga). La caracterización del material se llevó a cabo bajo mutua cooperación institucional con ésta. La máquina fue equipada con una celda de carga de 1 kN para los ensayos de tracción y desgarre mientras que para el ensayo de compresión se equipó con una celda de 100 kN.

Un resumen de las normas usadas se muestra a continuación.

- **Acondicionamiento de las muestras:** Las probetas se acondicionaron bajo la atmosfera estándar a la cual deben ser probadas según la norma ASTM D1610-01 [16] a  $23 \pm 2$  °C y una humedad relativa de  $50 \pm 4$  %.
- **Porcentaje de absorción de agua:** se probó la cantidad de agua absorbida por una probeta bajo condiciones estáticas según la norma ASTM D6015-10 [17] durante  $60 \pm 1$  min inmersa en agua.
- **Resistencia a la tensión:** Se cortaron las probetas con las dimensiones indicadas en la norma ASTM D2209-00 [18]. La velocidad uniforme de prueba fue de 203,2 mm/min, (ver ANEXO C).
- **Resistencia al desgarre:** La muestra se acondiciono según la norma ASTM D2212-00 [19]. La velocidad uniforme de prueba fue 203,2 mm/min. La figura 4 muestra ANEXO C.
- **Porcentaje de compresibilidad:** Las probetas fueron cortadas con las dimensiones indicadas por la norma ASTM D2213-00 [20]. La velocidad de incremento de presión fue de 200 psi/s hasta alcanzar 3000 Psi.

En el ANEXO B se enseña la maquina universal de ensayos mecanicos donde se llevaron a cabo la caracterización del material obtenido [21].

#### **2.2.4. Análisis estadístico de datos**

Se utilizó el software STATGRAPHICS CENTURION 16, para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos evaluar los efectos de las variables del diseño y sus respectivas interacciones sobre cada una de las variables de respuesta.

#### **2.2.5. Estimación preliminar de costos de las láminas de cuero recuperado**

Se planteó un estimado preliminar del costo por unidad de área de las láminas de cuero recuperado considerando el costo fijo de inversión y los factores que afectan los costos de manufactura para el primer año de producción.

### 3. RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se encuentran los resultados obtenidos de la caracterización mecánica de las láminas de cuero recuperado y se muestra el análisis estadístico de los datos recopilados. También se presenta el estimado preliminar del costo de producción de las láminas por unidad de área para producción en el primer año.

#### 3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

##### 3.1.1. Ensayos preliminares y diseño de tratamientos

Inicialmente se disminuyó el espesor debido a que las láminas se quebraban al tacto (ver ANEXO D). Posteriormente fueron probados, de acuerdo a Da Fonte *et al.*, el tiempo, temperatura y presión de curado. Se obtuvo una lámina quemada (ver ANEXO D) con resistencia a la tensión de 0,64 MPa y una resistencia al desgarre menor a 100 N siendo estos muy bajos comparados con la resistencia a la tensión y desgarre de una plantilla de zapato (Tabla 1). El ANEXO F muestra las probetas ensayadas para resistencia a la tensión y desgarre.

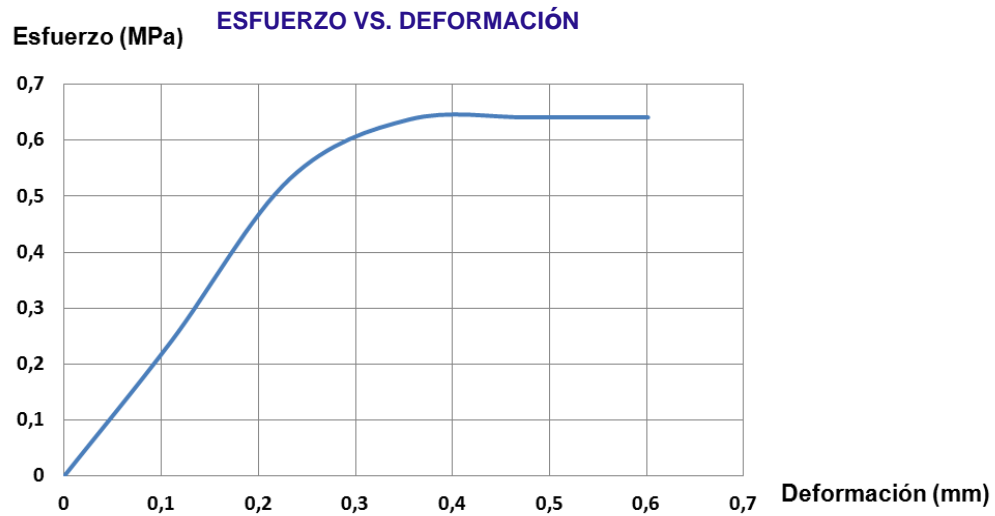
**Tabla 1.** Propiedades mecánicas de una plantilla de zapato.

Caracterización de plantilla para zapato		Norma ASTM
Resistencia a la tensión	8,8 (MPa)	D - 2209
Resistencia al desgarre	420,5 (N)	D - 2212
% de compresibilidad	19,25 %	D - 2213
% de absorción de agua	51,46 %	D - 6015

Fuente: El Autor

Las figuras 2 y 3 muestran ejemplos del diagrama Esfuerzo vs. Deformación y el diagrama Fuerza vs. Deformación, respectivamente, para los ensayos de tensión y desgarre realizados sobre la lámina obtenida en los ensayos preliminares.

**Figura 2.** Ejemplo de diagrama Esfuerzo Vs. Deformación de una lámina obtenida en los ensayos preliminares



**Fuente:** El autor

**Figura 3.** Ejemplo de diagrama Fuerza Vs. Extensión de una lámina obtenida en los ensayos preliminares



**Fuente:** El autor

Addie y Falls (1999) insistentemente recomiendan en su investigación, que el porcentaje en peso de agua y aglomerante durante el mezclado, no debe ser superior al 25 % y el 30 %, respectivamente. Se exploraron niveles más altos, pero se escogieron estos mismos niveles debido a que el aumento de agua permite el arrastre del aglomerante por el exprimido de la mezcla durante el prensado, haciendo ineficiente el curado. Estos niveles también facilitan el mezclado, debido a que el volumen de las fibras de cuero molido es bastante grande en comparación con la cantidad de agua y aglomerante, permitiendo la homogenización en menos tiempo. También se realizaron ensayos preliminares con las variables ya predeterminadas de presión, temperatura, cantidad de agua y aglomerante, modificando el tiempo de prensado; pasando por 5, 10 y 15 minutos. Se observó menor agrietamiento sobre las láminas de 15 minutos (ver ANEXO E). El diseño se hizo manteniendo constante este tiempo de prensado.

Considerando los resultados preliminares, se establecieron las condiciones y variables de operación del diseño de tratamientos mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Variables o factores controlables del diseño experimental

<b>Variable seleccionada</b>	<b>Nivel alto (+1)</b>	<b>Nivel bajo (-1)</b>
Presión de curado	150 kg f/cm <sup>2</sup>	100 kg f/cm <sup>2</sup>
Temperatura de curado	80 °C	70 °C
Relación aglomerante/cuero	3/7	2/8
% en peso de agua	25	15

**Fuente:** El autor.

### **3.1.2 Obtención de las láminas de cuero recuperado**

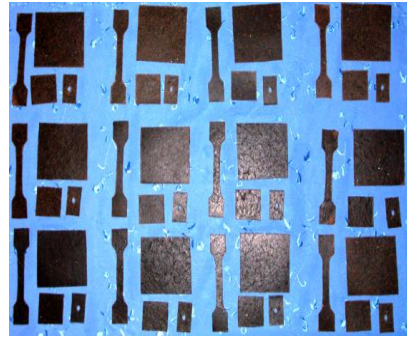
Según el protocolo propuesto de obtención de láminas de cuero recuperado y el diseño experimental, se obtuvieron las láminas que se muestran en la figura 4, para su posterior corte y preparación. Las probetas acondicionadas para su caracterización se muestran en la figura 5.

**Figura 4.** Lamina de cuero obtenida.



**Fuente:** El autor.

**Figura 5.** Probetas condicionadas.



**Fuente:** El autor.

### 3.1.3 Caracterización de las láminas de cuero recuperado.

Los 16 ensayos obtenidos del diseño de experimentos, según el nivel alto (+1) o bajo (-1) de los factores seleccionados del proceso, se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Notación geométrica del diseño de experimentos

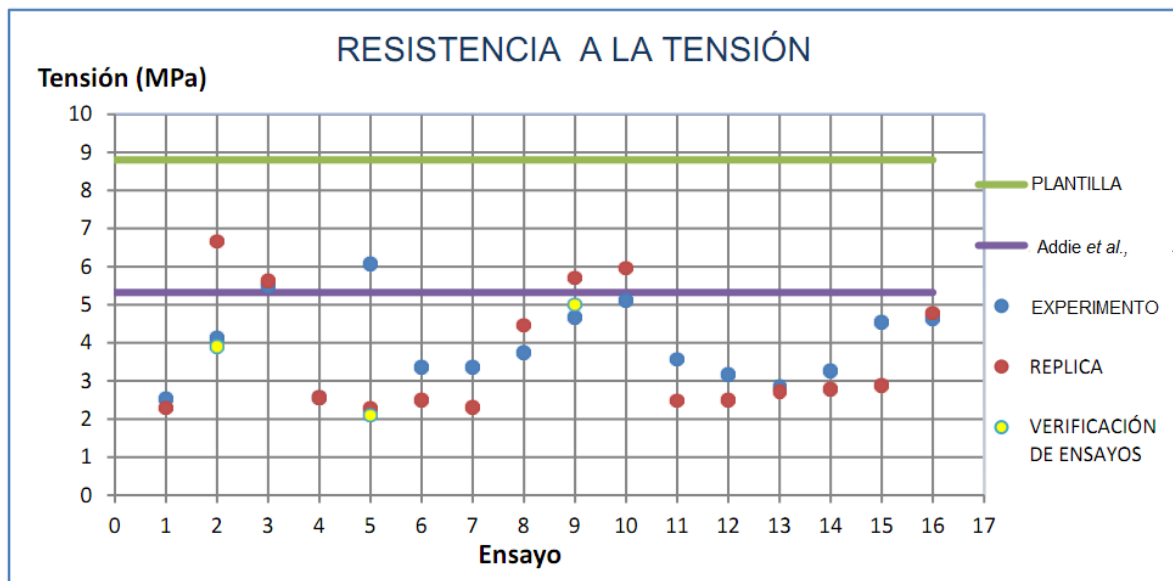
Ensayo	Presión de curado	Temperatura de curado	Relación aglomerante/ cuero	% en peso de agua
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

**Fuente:** El autor

Las figuras 6 y 7 muestran la resistencia a la tensión y desgarre de cada uno de los 16 ensayos realizados bajo distintas condiciones como se mostró en la tabla 3.

- **Resistencia a la tensión:** Como se puede observar en la figura 6. El ensayo número 2 y 5, tiene mayor resistencia a la tensión, pero gráficamente el porcentaje de error entre duplicados es más grande comparado con el ensayo 3 que reporta una resistencia promedio de 5,57 MPa con bajo porcentaje de error. También se puede ver los resultados promedio de resistencia a la tensión obtenidos por Addie *et al.*, que a su vez se encuentran por encima de los obtenidos en este trabajo.

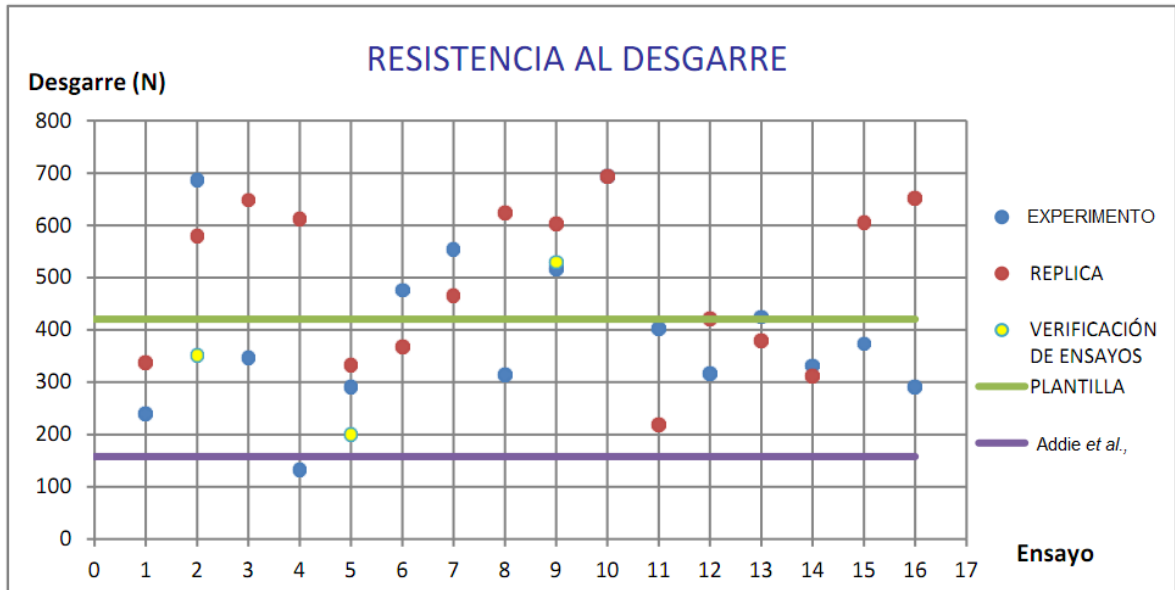
**Figura 6.** Resistencia a la tensión de las láminas de cuero recuperado, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones



Fuente: El autor

- **Resistencia al desgarre:** La figura 7 muestra la resistencia máxima al desgarre de las probetas 2, 9 y 10, aunque la número 10 presenta el menor porcentaje de error entre duplicados, con resistencia al desgarre de 694 N.

**Figura 7.** Resistencia al desgarre de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones



**Fuente:** El autor.

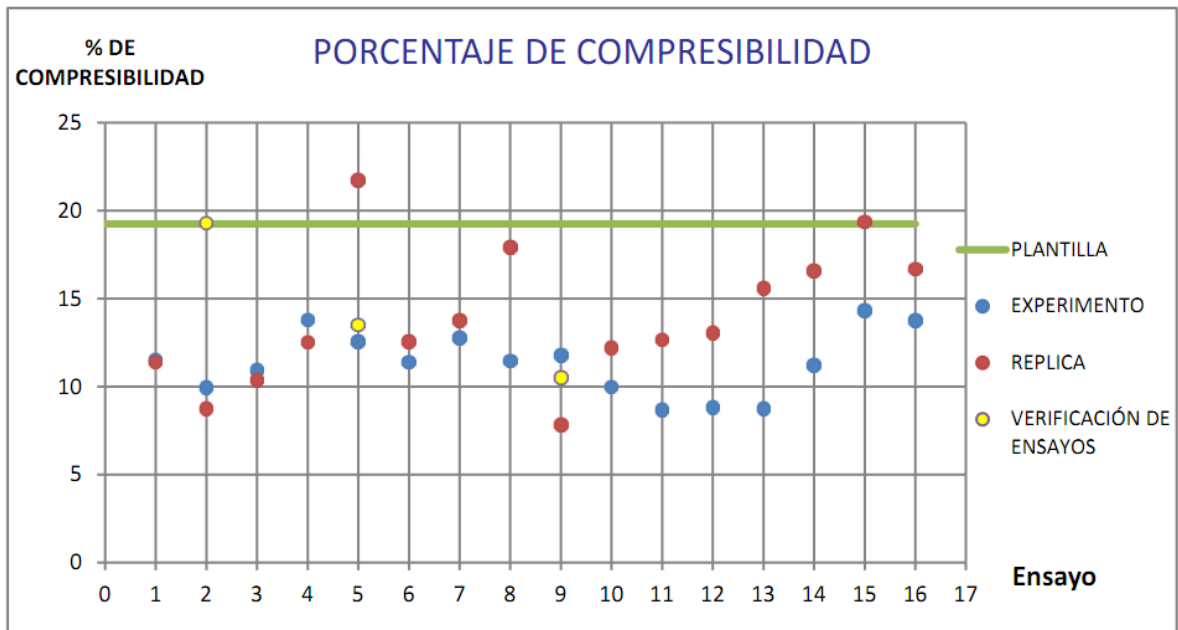
Como revelan los resultados anteriores, existe un porcentaje de error entre algunos duplicados. Esto se amerita al error humano y a la manipulación de las probetas durante el corte, confiriéndoles una fatiga previa a su caracterización. La figura 8 y 9 también revelan la resistencia promedio a la tensión y desgarre de una plantilla de zapato (representada con la línea verde), aplicación el cual se le desea dar al material obtenido. Cabe resaltar que cada etapa del proceso, junto con la maquina universal de ensayos mecánicos, también aportan al error obtenido.

Se comparó el resultado promedio de resistencia al desgarre obtenido por ADDIE *et al.*, y se observó que son inferiores de los resultados mostrados en la figura 7. Cabe resaltar que los resultados de los ensayos, no siguen una tendencia.

SILVA [22] después de caracterizar 86 muestras de material de cuero para calzado de seguridad, obtuvo un promedio de resistencia a la tensión bastante alto en comparación con los obtenidos en este trabajo, pero también obtuvo valores de resistencia al desgarre congruentes a los reportados en la figura 7. En el ANEXO F se muestran las probetas después de haber sido caracterizadas.

- **Porcentaje de compresibilidad:** La figura 8 enseña el porcentaje de compresibilidad de cada una de los 16 ensayos realizados bajo distintas condiciones como se mostró en la tabla 3. La línea verde representa el porcentaje de compresibilidad promedio para una plantilla comercial. Como se puede observar el porcentaje obtenido de las láminas es relativamente bajo comparado con el de la plantilla, con valores por debajo del 10 %.

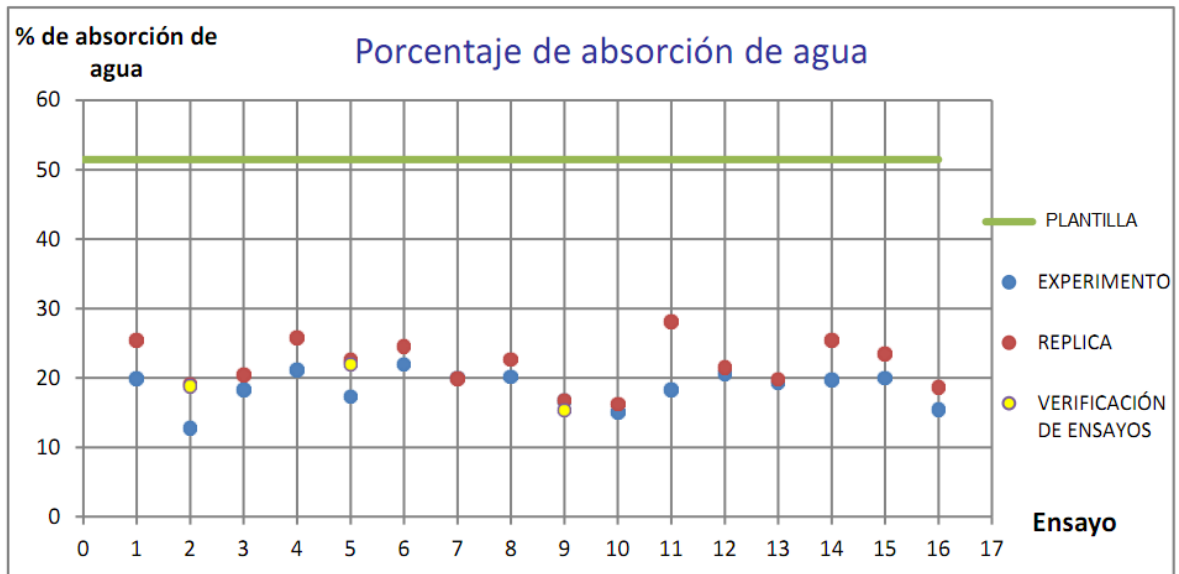
**Figura 8.** Porcentaje de compresibilidad de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los 16 ensayos realizados bajo distintas condiciones



Fuente: El autor.

- **Porcentaje de absorción de agua:** Según lo planteado en las normas técnicas para calzado [23], para comercializar plantillas, éstas deben cumplir algunos requisitos, tales como el porcentaje de absorción de agua, con valores máximos permitidos de  $50 \pm 2\%$ . En la figura 9 se muestra los porcentajes obtenidos de absorción de agua de las láminas y de la plantilla representada por la línea verde. La probeta número 9 y 10 reportan el mejor porcentaje, con el menor error entre duplicados, de 17 y 16 % respectivamente.

**Figura 9.** Porcentaje de absorción de agua de las láminas y de la plantilla, para cada uno de los ensayos realizados bajo distintas condiciones



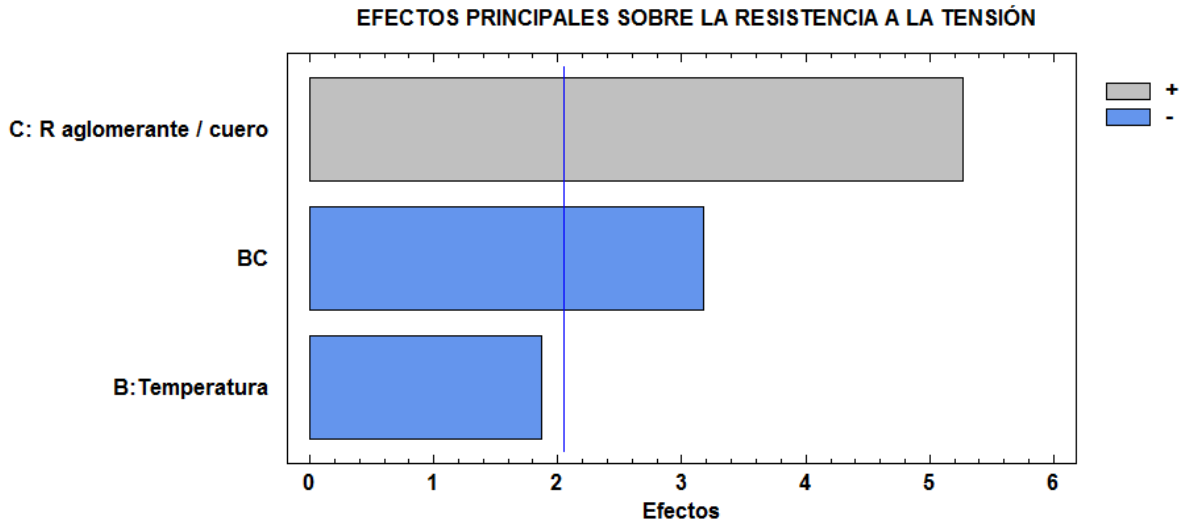
Fuente: El autor

### 3.1.4 Análisis estadístico de los datos.

Utilizándose el software STATGRAPHICS CENTURION 16, se determinó, cuales son las variables principales que afectan cada una de las variables de respuesta. La herramienta utilizada fueron las gráficas de Pareto.

- Resistencia a la tensión:** La figura 10 representa la gráfica de Pareto y muestra la importancia de la cantidad de aglomerante agregado durante el mezclado, además de la interacción entre ésta y la temperatura de curado, sobre la resistencia a la tensión. Según lo dicho, se puede analizar que la mejor combinación entre variables resulta de mantener la presión, temperatura y cantidad de agua en un nivel bajo, mientras que la relación aglomerante / cuero en un nivel alto.

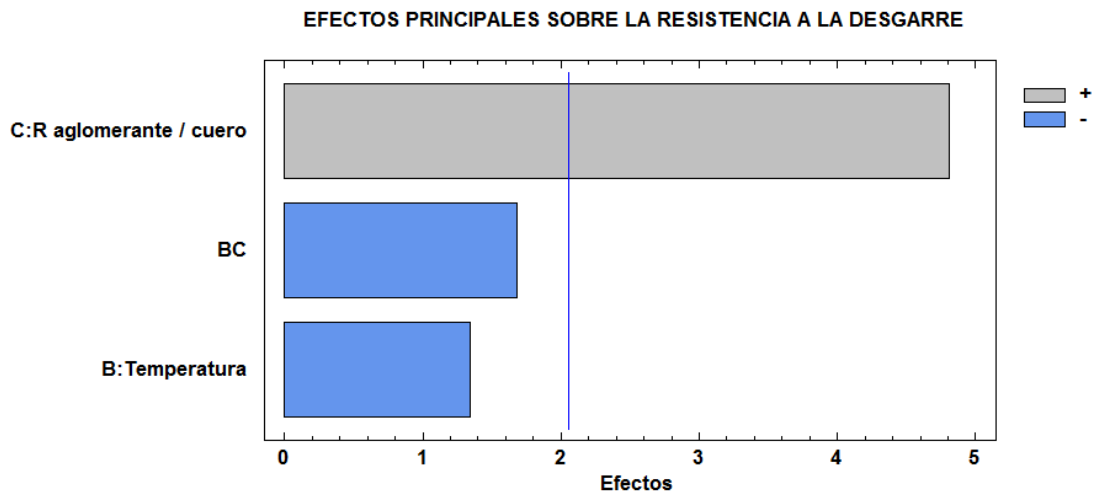
**Figura 10.** Grafica de Pareto para el análisis de la resistencia a la tensión.



El modelo aproximado que predice la resistencia a la tensión en función de los efectos vienen dados por la ecuación 1 (ver ANEXO G).

- **Resistencia al desgarre:** La grafica de Pareto (Figura 11), enseña como la resistencia al desgarre depende significativamente, de la relación aglomerante / cuero, en su nivel alto.

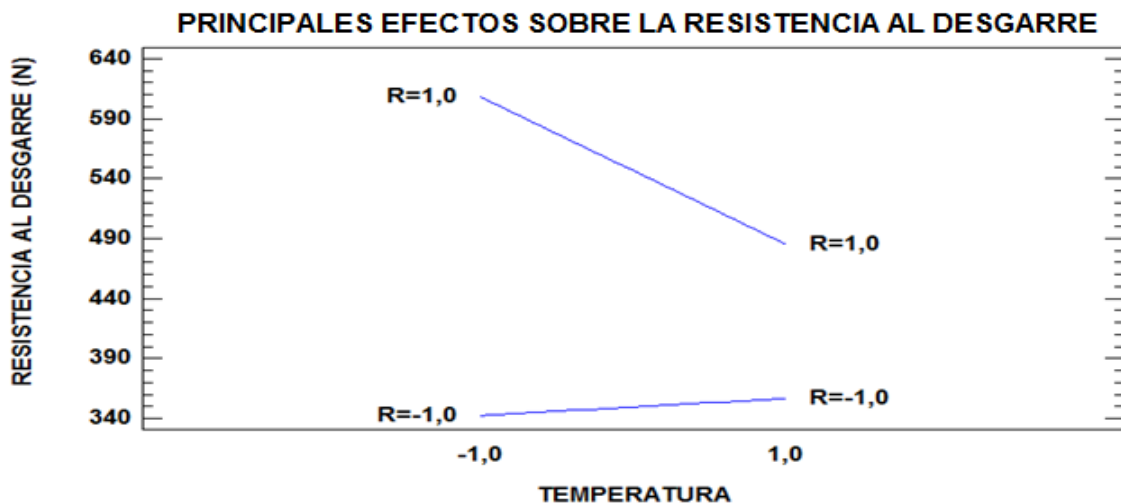
**Figura 11.** Grafica de Pareto para el análisis de la resistencia al desgarre.



**Fuente: El autor**

La figura 12 muestra el efecto causado entre la temperatura y la relación aglomerante / cuero, permitiendo ver que la temperatura en el nivel bajo y la relación aglomerante / cuero en el nivel alto, se obtiene la mayor resistencia al desgarre. Esto nos permite evaluar la etapa del mezclado para los niveles estudiados, obteniendo como resultado la mejor combinación como sigue: presión, temperatura y cantidad de agua en un nivel bajo, mientras que la relación aglomerante / cuero en un nivel alto.

**Figura 12.** Efecto causado entre la temperatura y la relación aglomerante / cuero.



**Fuente:** El autor

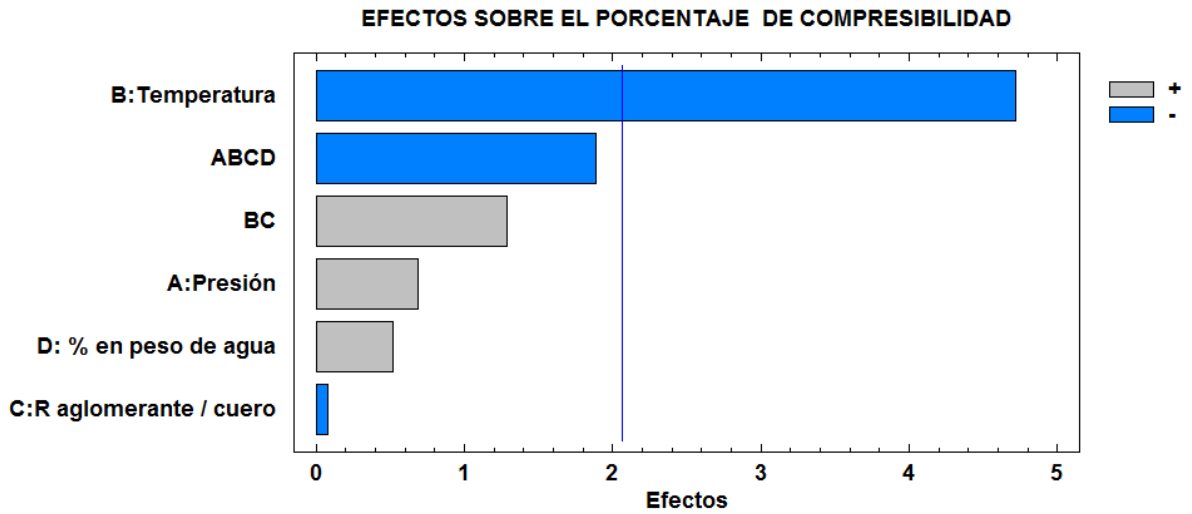
El modelo aproximado que predice la resistencia al desgarre en función de los efectos viene dados por la ecuación 2. (ANEXO G)

También se puede observar que los arreglos o combinaciones de los factores que maximizan la resistencia a la tensión y desgarre son los mismos.

- **Porcentaje de compresibilidad:** La figura 13 muestra la gráfica de Pareto, en la cual se puede observar la influencia de la temperatura como la mayor causante de los efectos sobre el porcentaje de compresibilidad; aunque cabe resaltar la interacción entre las 4 variables del proceso, donde también podrían llegar a causar efectos importantes sobre la variable de respuesta.

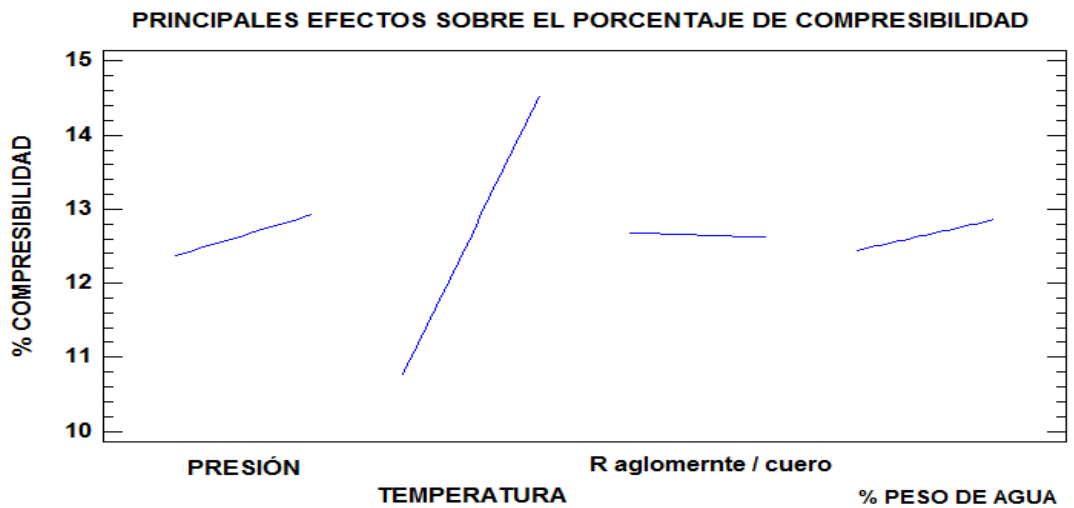
La figura 14 enseña el efecto de los factores sobre el porcentaje de compresibilidad. Esta permite ver que el mejor arreglo entre factores corresponde cuando todas las variables están en el nivel bajo debido a que se requiere la menor deformación posible del material obtenido.

**Figura 13.** Grafica de Pareto para el análisis del porcentaje de compresibilidad.



Fuente: El autor

**Figura 14.** Efecto de los factores sobre el porcentaje de compresibilidad

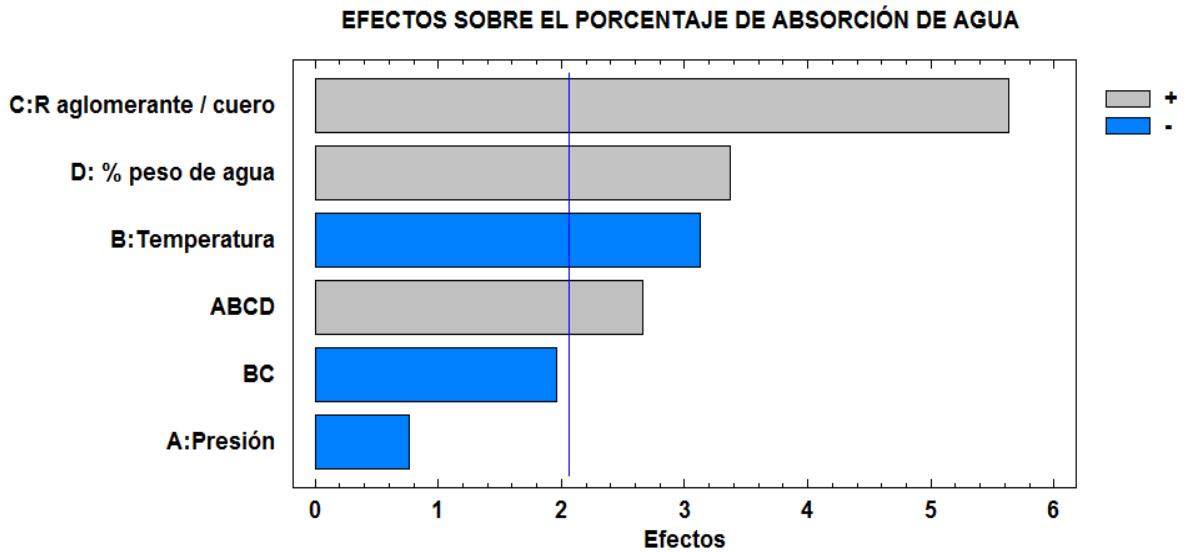


Fuente: El autor

El modelo planteado para el porcentaje de compresibilidad en función del factor más significativo sobre la variable de respuesta se muestra en el ANEXO G.

- Porcentaje de absorción de agua:** En la figura 15 (grafica de Pareto) se aprecia el nivel de significancia de la relación aglomerante cuero, del porcentaje en peso, temperatura e interacción de las 4 variables del proceso, sobre el porcentaje de absorción de agua de las láminas. También se logra obtener la mejor combinación entre variables, que permita minimizar el porcentaje de absorción de agua sobre las láminas, siendo la presión y temperatura en un nivel bajo y la cantidad de aglomerante y agua en el alto.

**Figura 15.** Grafica de Pareto para el análisis del porcentaje de absorción de agua.



**Fuente:** El autor

El modelo planteado para obtener el porcentaje de absorción de agua en función de los factores que más afectan la variable de respuesta se explica en el ANEXO G. La tabla 4 resume las mejores combinaciones (para los niveles estudiados) entre factores para obtener los mejores valores sobre las variables de respuesta.

Tabla 4. Mejor combinación entre factores para los niveles estudiados

Variable de respuesta	Presión (kg f / cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	R. Aglomerante/cuero	% Peso de agua
R. Tensión	100	70	3 / 7	15
R. Desgarre	100	70	3 / 7	15
% Compresibilidad	100	70	2 / 8	15
% Absorción agua	100	70	3 / 7	25

Fuente: El autor

Como se mostró en los diagramas de Pareto, la temperatura y la relación aglomerante / cuero son determinantes sobre las variables de respuesta durante el prensado y mezclado, respectivamente.

Los valores obtenidos para el porcentaje de compresibilidad y porcentaje de absorción de agua están bastante bajos en comparación con los valores obtenidos para un plantilla comercial. Esto nos da cierta flexibilidad a la hora de manipular el porcentaje en peso de agua durante el mezclado. Es decir, si se desea escoger una combinación donde se obtenga las mejores variables de respuesta dentro de los niveles estudiados, se hace un análisis de costo / beneficio donde la cantidad de agua, a pesar de que se planteó en un nivel bajo para la resistencia a la tensión, desgarre y porcentaje de compresibilidad, se puede trabajar en un nivel alto debido a que el aumento de agua del proceso disminuye el tiempo de mezclado, viéndose reflejado en la disminución del consumo eléctrico en el mezclador. La presión se debe mantener en el nivel bajo ya que no tiene efecto sobre las variables de respuesta, la temperatura en el nivel bajo y la relación aglomerante / cuero en el nivel alto, ya que este no produce afecto considerable sobre el porcentaje de compresibilidad.

### **3.1.5. Estimación preliminar de costos de las láminas de cuero recuperado**

Comercialmente se presenta el cuero recuperado y los materiales para plantillas en láminas de 1,5 m<sup>2</sup> de cada una. El ANEXO H muestra el método usado para calcular el costo preliminar de las láminas de cuero recuperado, para el primer año de producción, siendo este de \$10100 por lámina. Este valor se compara con el costo de una lámina para plantillas que oscila alrededor de \$7000. Bajo las consideraciones anteriormente planteadas se encontró que el proceso propuesto de reciclado de cuero no es viable desde el punto de vista económico, pero viable técnica y ambientalmente, Sin embargo, si se considera que una lámina de cuero recuperado puesta en Bucaramanga tiene un costo de \$48000 pesos por m<sup>2</sup>, entonces el proceso si resulta ser económico. Adicionalmente, como valor agregado, habrá una reducción de costos asociada a la disminución en la utilización del espacio en rellenos sanitarios, como consecuencia de la disminución de la cantidad de residuos sólidos de cuero.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los factores seleccionados para el diseño experimental corresponden a la relación aglomerante / cuero, cantidad de agua que se agrega durante el mezclado y la temperatura y presión de curado durante el prensado. Siendo determinante la relación aglomerante / cuero, sobre las condiciones óptimas de respuesta de la resistencia a la tensión, resistencia al desgarre y porcentaje de absorción de agua, bajo la cobertura de los niveles estudiados.

La cantidad de agua agregada durante la etapa del mezclado, tiene un efecto directo, inversamente proporcional, sobre la cantidad de agua absorbida por parte de las láminas de cuero recuperado; mientras que para la resistencia a la tensión, desgarre y porcentaje de compresibilidad, no tiene significancia alguna.

El factor que más significancia tiene sobre las 4 variables de respuesta, en base a los niveles estudiados durante la etapa del prensado, corresponde a la temperatura de curado en su nivel bajo.

Con respecto a la aplicación que se planteó, las láminas de cuero recuperado superaron la resistencia al desgarre, el porcentaje de compresibilidad y el porcentaje de absorción de agua, en comparación con las mismas propiedades de las plantillas. Sin embargo, si las láminas de cuero reciclado comercialmente no requieren alcanzar los valores de resistencia a la tensión del material que se utiliza para plantillas el material obtenido tiene la capacidad de reemplazar a éste.

## 5. RECOMENDACIONES

Durante el diseño experimental se escogieron dos niveles, alto y bajo, para las variables del proceso. Se recomienda seleccionar distintos niveles a los planteados, con el fin de explorar otros intervalos, en los cuales se puedan encontrar óptimos absolutos.

Se recomienda hacer estudios sobre la introducción de armaduras de refuerzo, tales como fibra de vidrio, para la obtención de láminas de cuero recuperado, con el fin de observar si mejoran las propiedades mecánicas del material.

Comercialmente, es importante obtener láminas de color y apariencia agradables a la vista. Esto se puede mejorar utilizando pinturas o recubrimiento que a su vez confieran mejoramiento de propiedades mecánicas al material.

Durante el proceso propuesto para la obtención de láminas, el volumen de agua gastado es considerable. Se debe buscar la manera de minimizar el consumo de agua, utilizando cambios en las variables de proceso como por ejemplo, el tipo de aglomerante utilizado o una mezcla de aglomerante y aditivos, entre otros.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] VERGARA, Marisol V. POIRRIER, Paola. TORRES, Rodrigo. Influencia del porcentaje de solidos totales y nutriente en la cinética de biodegradación de sustratos orgánicos. Centro de estudios e investigaciones ambientales (CEIAM). Universidad industrial de Santander y Colciencias. Octubre de 2009. Consultado el 1 de marzo del 2011. Disponible en: <http://ciia.uniandes.edu.co/Simabiotpresent/DIA%201/7.%20Vergara.pdf>.
- [2] REYES. Jenny Marcela. Diagnóstico ambiental para la empresa Colombiana de cuero de caimán ECOCAIMAN S.A. C.I. Monografía (Especialista ambiental). Bogotá, Colombia. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. 2004. 124p.
- [3] J. YANIK, O.YILMAZ, I.C. KANDARLI, M.YUKSEL, M.SAGLAM. Conversion of leather waste to useful products. *Resources, Conservation and Recycling*.Vol.49, 436-448. (2007).
- [4] Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales. CNPMLTA. "Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre. Manual Sectorial Ambiental". Febrero de 2004. Medellín. Colombia Disponible en internet: <http://www.sirac.info/Curtiembres/html/Archivos/Publicaciones/Manual.pdf>.
- [5] Asociación Colombiana de Industriales de Calzado, el Cuero y sus Manufacturas. ACICAM. "Informe Sectorial Enero a diciembre de 2010" Febrero de 2011. Bogotá. Colombia. Disponible en internet: <http://www.acicam.org/documents/comovaelsectorDICIEMBRE2010.pdf>.
- [6] KINDLEIN W., ALVES L.H., SEADI GUANABARA A. Proposal of wet blue leather remainder and synthetic fabrics reuse. *Journal of cleaner productions*. 2007, P. 1-6

[7] United States Patent. Patent number 4, 287,252. DIMITER, S. Reconstituted leather and method of manufacture. Appl. 184,656. Sep 1, 1981

[8] United States Patent. Patent number 4,497,871.HENKE, E.W. Reconstituted leather and method of manufacturing same.Appl. 489,001. Feb 5, 1985

[9] World Intellectual Property organization International Bureau. Appl.No. 98/18863. DA FONTE, J. Process of recycling leather residues and Productions of composite materials. Appl. Pct. / pt97/00008. May 7, 1998

[10] United States Patent 5,958,554. ADDIE, B., FALLS, C. Reconstituted leather product and process. Appl. 08/658,682. Sep 28, 1999

[11] YILDIRIM ERBIL, H. 2008.Vinyl Acetate Emulsion Polymerization and Copolymerization whit Acrylic Monomers. *Vinyl Acetate Copolymerization whit Acrylic Monomers*. Recuperado de la base de la base de datos CRCnetBase.

[12] DAMICO Denis, J. Reactive Acrylic Adhesives. En: PIZZI, A. MUTTAL, K.L. *Handbook of Adhesives Technology*. 2ª ed., New York. Cap. 38. Recuperado de la base de datos CRCnetBase.2003.

[13] KEIMEL, A. Historical Development of Adhesives and Adhesive Bonding. En: *Handbook of adhesive Technology*. 2ª ed., New York. Cap. 1. Recuperado de la base de datos CRCnetBase. 2003.

[14] GEDDES, K. Polyvinyl and Ethylene Vinyl Acetates. En: PIZZI, A. MUTTAL, K.L. En: *Handbook of Adhesives Technology*. 2ª ed., New York. Cap. 35. Recuperado de la base de datos CRCnetBase. 2003.





[15] MONTGOMERY, Douglas C. y RUNGER, George C. Applied statistics and probability for engineers. 3ª ed., Arizona. John Wiley & Sons Inc. 706p. 2003.

[16] ASTM D1610-01. (Reapproved 2007).Standard practice for conditioning leather and leather products for testing.

- [17] ASTM D6015-10. Standard test method for static water absorption of leather.
- [18] ASTM D2209-00 (Reapproved 2010). Standard test method for tensile strength of leather.
- [19] ASTM D2212-00 (Reapproved 2010) Standard test method for slit tear Resistance of leather.
- [20] ASTM D2213-00 (Reapproved 2010) Standard test method for compressibility of leather.
- [21] PEREZ Luis Eduardo y RIVALDO Michael Yesid. Diseño, fabricación y caracterización mecánica de un material compuesto de matriz polimérica. Trabajo de grado (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.. 2007. 55p.
- [22] SILVA Paulina. Propiedades físicas y químicas del cuero para calzado de seguridad. *Tecnología en marcha*. Vol. 18-1. 47p. Disponible en: [http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial\\_tecnologica/Revista\\_Tecnologia\\_Marcha/pdf/tecnologia\\_marcha4/propiedades%20fisicas%20y%20quimicas%20del%20cuero%20para%20calzado%20de%20seguridad.pdf](http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha4/propiedades%20fisicas%20y%20quimicas%20del%20cuero%20para%20calzado%20de%20seguridad.pdf).
- [23] El portal del cuero. Disponible en: <http://www.portaldelcuero.com/informa/informa04.asp>.
- [24] TURTON, Richard and others. *Analysis, Synthesis and design of chemical processes*. 3<sup>a</sup> ed. New Jersey, Prentice Hall. 1068p. 1998.
- [25] Entrevista telefónica: Polímeros y derivados. León, Gto. México. 2007

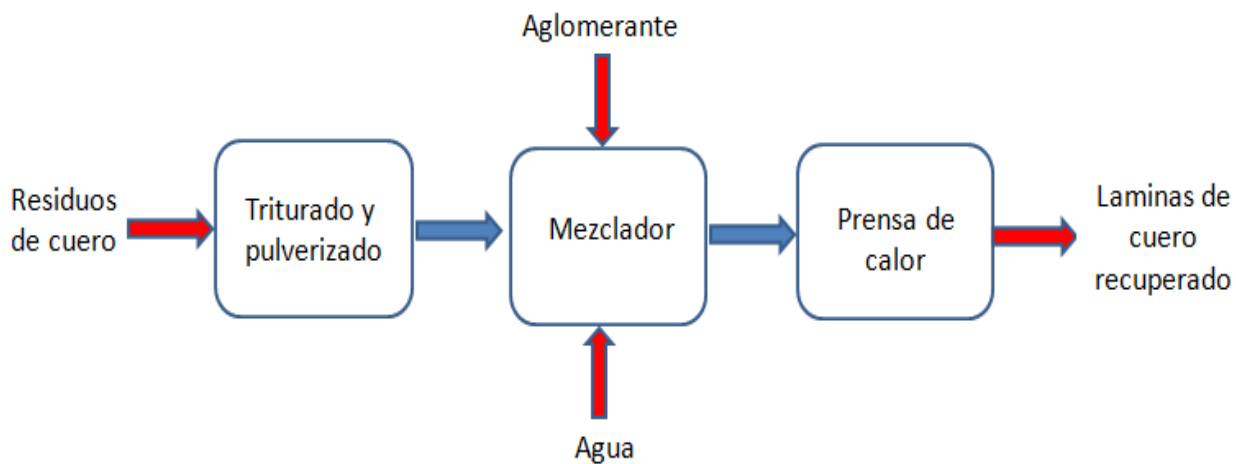
## ANEXOS.

### ANEXO A. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN.

Equipo	Especificación
	<p><b>Molino de cuchillas</b></p> <p>Molino compuesto</p> <p>Capacidad = 0,5 Ton/ h</p>
	<p><b>Prensa hidráulica</b></p> <p>Marca Berstorff</p> <p>Max. 400 Kg f / cm<sup>2</sup></p>
	<p><b>Mezclador de cuchillas</b></p> <p>Marca OSTERIZER blender</p> <p>2 velocidades</p>
	<p><b>Balanza analítica</b></p> <p>Serie AB204-S, marca METTLER TOLEDO</p> <p>máx 220 g, e = 0,001 g, mín. 0,01 g, d = 0,0001 g.</p>

## ANEXO B. PROTOCOLO PROPUESTO DE OBTENCIÓN DE LÁMINAS DE CUERO RECUPERADO Y MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MECANICOS.

**Tabla B1.** Proceso de obtención de láminas de cuero recuperado.



**Fuente:** El autor.

**Figura B1.** Máquina universal de ensayos mecánicos AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU.



**Fuente:** PEREZ, L. y RIVALDO, M. Diseño, fabricación y caracterización mecánica de un material compuesto de matriz polimérica. [21] 2007. 55p.

**ANEXO C. PROBETAS CORTADAS PARA SU POSTERIOR  
CARACTERIZACIÓN.**

**Figura C1.** Probetas cortadas para ensayos de tensión



**Fuente:** El autor

**Figura C2.** Probeta cortada para ensayo de desgarre.



**Fuente:** El autor

**ANEXO D. LAMINAS DE CUERO RECUPERADO OBTENIDA EN LOS ENSAYOS PRELIMINARES.**

**Figura D1.** Lamina obtenida antes de modificar el espesor.



**Fuente:** El autor

**Figura D2.** Lamina quemada obtenida después de modificar temperatura y tiempo de curado



**Fuente:** El autor

**ANEXO E. LAMINA DE CUERO RECUPERADO DESPUES DE LA SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO Y PROBETAS DE PLANTILLA CARACTERTEERIZADAS.**

**Figura E1.** Lamina de cuero



**Fuente:** El autor

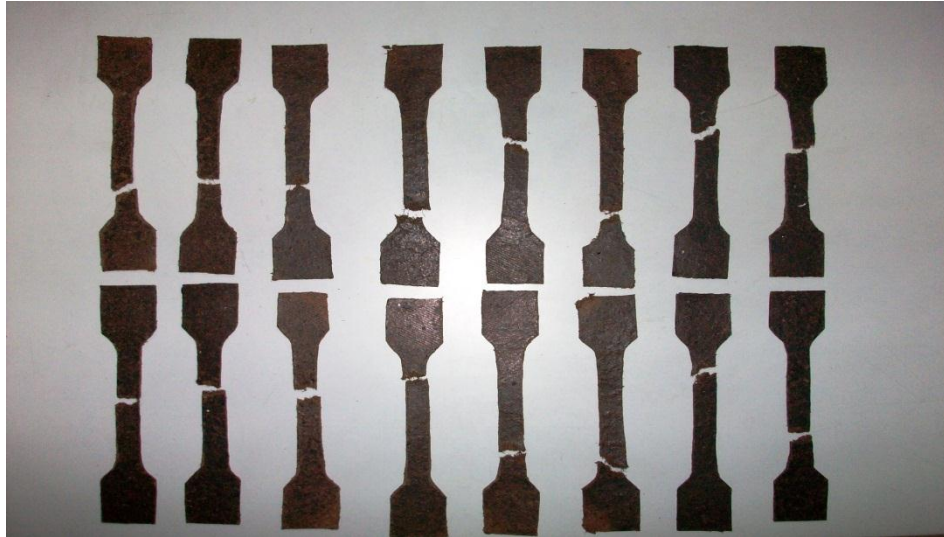
**Figura E2:** Probetas de plantillas caracterizadas mediante el ensayo de tensión y desgarre



**Fuente:** El autor

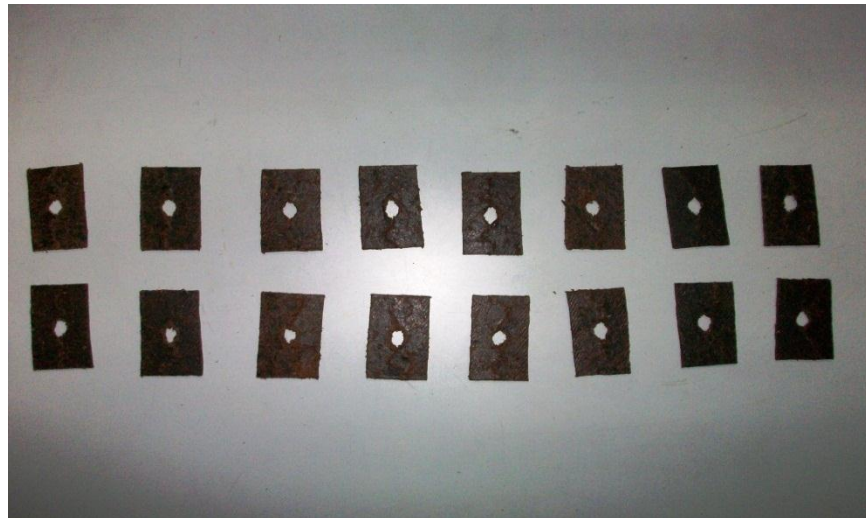
**ANEXO F. LAMINAS DE CUERO RECUPERADO DESPUÉS DE SU RESPECTIVA CARACTERIZACIÓN.**

**Figura F1.** Probetas después del ensayo de tensión.



**Fuente:** El autor

**Figura F2.** Probetas después del ensayo de desgarre.



**Fuente:** El autor

## **ANEXO G. MODELOS MATEMATICOS PLANTEADOS PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.**

**Ecuación 1.** Modelo aproximado que predice la resistencia a la tensión en función de los efectos principales.

$$\sigma = 3,80509 + 0,828469 * (C) - 0,498719 * (B) * (C)$$

Donde C: Relación aglomerante / cuero, en su nivel alto durante el mezclado = +1

B: Temperatura de curado en su nivel bajo durante el prensado = -1

$\sigma$ : Resistencia a la tensión de la láminas de cuero recuperado (MPa).

**Ecuación 2.** Modelo aproximado que predice la resistencia al desgarre en función del efecto principal.

$$\delta = 448,063 + 98,375 * (C)$$

Donde C: Relación aglomerante / cuero, en su nivel alto durante el mezclado = +1

$\delta$ : Resistencia al desgarre de la láminas de cuero recuperado (N).

**Ecuación 3.** Modelo planteado para el porcentaje de compresibilidad en función de su efecto principal.

$$\%C = 12,6509 + 1,8785 * (B)$$

Donde % C: Porcentaje de compresibilidad de las láminas de cuero recuperado

B: Temperatura de curado durante el prensado en su nivel bajo = -1

**Ecuación 4.** Modelo planteado para obtener el porcentaje de absorción de agua en función de las variables que principalmente afectan la variable de respuesta .

$$\% H = 20,2 + 0,97 * (B) - 1,74 * (C) - 1,04 * (D) + 0,825 * (A) * (B) * (C) * (D)$$

Donde % H: Porcentaje de absorción de agua de las láminas de cuero recuperado.

A: Presión de curado durante el prensado en su nivel bajo = -1

B: Temperatura de curado durante el prensado en su nivel bajo = -1

C: Relación aglomerante / cuero durante el mezclado en su nivel alto = +1

D: porcentaje en peso de agua durante el mezclado en su nivel alto = +1

## ANEXO H. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE COSTOS POR UNIDAD DE AREA DE LAS LAMINAS DE CUERO RECUPERADO.

Teniendo en cuenta, la cantidad aproximada de desechos de cuero que se botan en Bucaramanga se tomó una base de cálculo de procesamiento de retal de cuero de 1000 Kg / día, debido a la capacidad de algunos equipos que ya se tienen. También se realizó en base a la mejor combinación entre variables de proceso que se obtuvo en anteriormente durante el análisis de resultados.

### Costos de inversión de capital.

Estos costos están asociados a la inversión por equipos y el terreno donde se va a ubicar la planta. Para el caso estudio, solo se consideran los costos por la compra de equipos, ya que el terreno ya había sido adquirido. La tabla 5. muestra el costo de los equipos para la capacidad mencionada. El costo de inversión de capital registra un total de 53.000.000 pesos.

Tabla 5. Costo de equipos para procesar 1000 Kg/día.

Tipo de equipos	Número de equipos	Costo de equipos (pesos)	Potencia eléctrica ( KW)
Molino	1	18.000.000	11
Mezclador	1	10.000.000	5,22
Laminador	1	25.000.000	5,22
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>53.000.000</b>	<b>21,44</b>

Fuente: El Autor.

### Costos directos de manufactura.

Los calculo económicos se realizaron para un año de producción, trabajando 312 días al año, un turno de 3 horas por día.

- **Materia prima:** Se tomó como base de cálculo una producción de 1000 Kg por día de residuos de cuero. Considerando un costo de 2.000 pesos/ Kg de residuo de cuero, dando un costo anual de 624.000.000 pesos.

- **Servicios industriales:** La potencia eléctrica de los equipos registra un total de 21,44 KW dando un costo de energía requerida de 23.700 pesos, para un costo total anual de 7.372.000 pesos. La energía será suministrada por la empresa ELECTRIFICADORA DE SANTANDER E.S.A. S.A. a un costo de 376,36 pesos/ Kwh.

El agua de proceso requerida por tonelada de residuo de cuero es de 0,477 m<sup>3</sup>, dando un costo de 600 pesos por tonelada. La empresa ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. suministrará el agua a un costo de 1.250 pesos por m<sup>3</sup>, dando un costo anual de 186.000 pesos. La tabla 6 muestra el resumen de costos de los servicios industriales.

**Tabla 6. Servicios industriales del proceso**

<b>Servicios industriales</b>	<b>Cantidad requerida</b>	<b>Costo de servicio (pesos/ 1000 Kg)</b>	<b>Costo anual (pesos)</b>
Agua (m <sup>3</sup> )	0,477	600	186.000
Potencia eléctrica (KW)	21,44	23.700	7.372.000
<b>Total costo servicios</b>		<b>24.300</b>	<b>7.558.000</b>

**Fuente:** El Autor.

- **Insumos:** Para la cantidad procesada de materia prima, se requieren 429 Kg de aglomerante, la cual son suministrados por PREFLEX S.A. a un costo de 3.250 pesos por kg de aglomerante puesto en Bucaramanga. Esto nos da un costo de 1.394.250 pesos por cada 1000 Kg y un costo anual de 435.006.000 pesos.
- **Mano de obra operativa:** Considerando un operario para el proceso y un salario de 500.000 pesos multiplicado por un factor prestacional de 1,6 , obtenemos un costo mensual de 800.000 pesos y un costo anual de 9.600.000 pesos.
- **Mantenimiento y reparación:** Por heurística, aproximadamente el costo de mantenimiento y reparación corresponde al 6 % del costo total de los equipos [20], dando un costo anual de 3.180.000 pesos.

Los costos directos de manufactura, estiman un total de 1.079.350.000 pesos.

#### **Costos fijos de manufactura.**

- **Depreciación:** Se considera, una depreciación anual del 10 % del costo total de los equipos de tal forma que al cabo de 10 años los equipos no tienen valor alguno. Esto nos da un costo anual de 5.300.000 pesos.
- **Seguros e impuestos:** Según Turton [24], son los costos asociados a impuestos y obligaciones de seguros, basados en la ubicación de la planta y la severidad del proceso, y corresponden aproximadamente al 5 % del costo total de los equipos, dando un costo anual de 1.696.000 pesos.

Los costos fijos de manufactura registran un total de 6.996.000 pesos.

El costo total de producción anual se determina sumando el costo fijo de inversión, costos directos de manufactura y los costos fijos de manufactura. En la tabla 7 se muestra un resumen de los costos totales.

**Tabla 7. Costos totales para el primer año de producción.**

<b>Costo total de producción</b>	
Capital fijo de inversión	53.000.000
Costos directos de manufactura	1.079.350.000
Costos fijos de manufactura	6.996.000
<b>Total</b>	<b>1.139.346.000</b>

**Fuente:** El autor.

Para los 1000 Kg procesados se requieren 477 Kg de agua y 429 Kg de aglomerante, la cual me van a producir aproximadamente 545 m<sup>2</sup> de láminas de cuero recuperado con un espesor constante de 2,2 mm. Comercialmente, el cuero recuperado se presenta en láminas de 1.5 m<sup>2</sup>, con un costo de 48.000 pesos por lamina de 1,8 y 2,5 mm de espesor [25], puesto en Bucaramanga. Esto nos da una producción de 363 láminas diarias, 113.256 láminas anuales. El costo total por lámina se calcula dividiendo el costo total de producción entre el número de láminas producidas, obteniendo un valor de 10.100 pesos por lámina.