

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE  
POLÍMEROS A PARTIR DE TEXTILES PUBLICITARIOS**

**YEIMY TATIANA BARBOSA POLANIA  
MARIA FERNANDA ROBERTO ROMERO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2019**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE  
POLÍMEROS A PARTIR DE TEXTILES PUBLICITARIOS**

**YEIMY TATIANA BARBOSA POLANIA  
MARIA FERNANDA ROBERTO ROMERO**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2019**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Dany José Cárdenas Romay**  
**Jurado 1**

---

**Nubia Liliana Becerra Ospina**  
**Jurado 2**

Bogotá D.C., agosto de 2019

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA

Presidente institucional y Rector del Claustro

**Dr. Mario Posada García-Peña**

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectoría académica y de posgrados

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez**

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

## DEDICATORIA

*Este proyecto de grado va dedicado primeramente a Dios quien con su gracia, amor y sabiduría guio cada paso, hasta este momento tan importante en mi formación profesional, aquel que está siempre presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome la fortaleza para continuar con cada uno de los sueños que él puso en mi corazón.*

*En memoria de mi tío José Vicente Polania Caicedo, quien me animo a emprender este gran reto, quien durante varios años brindo su apoyo, motivación y amor. Por la fe que mantuvo en mí hasta sus últimos días, mi mayor anhelo fue que estuvieses presente, pero ahora que esta etapa de mi vida culmina sé que desde el cielo sientes alegría por mí.*

*A mis padres Jorge Enrique Barbosa Gómez y Matilde Polania Caicedo que por su cariño, amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar hasta este punto “al cumplimiento de mi sueño”, gracias por inculcar en mi determinación y valentía.*

*A mis hermanos por estar siempre presentes, por cada consejo brindado, cada hora compartida y por creer que este sueño se haría realidad.*

*A mis familiares que con cada palabra me llevaban a superarme y nunca rendirme, quienes expresaron ver en mi un ejemplo a seguir.*

*A mi líder Andrea Soler por cada palabra de apoyo, motivación y de nunca renunciar, por mostrarme que todo es posible cuando Dios está de nuestro lado.*

*A todos mis amigos de la universidad que hicieron de cada semestre los mejores, son el mejor regalo de grado.*

*†Yeimy Tatiana Barbosa Polania ✠*

*Le dedicó este y cada paso que he dado a mi papá Arturo Roberto, por ser mi inspiración, orgullo y camino, por enseñarme que las sonrisas y los buenos momentos siempre son más grandes que cualquier tristeza, por mostrarme que de la caída más profunda es posible levantarse y porque sé que desde lo más alto del cielo has iluminado y seguirás iluminando mi vida*

*A mi mamá, Elsa Romero por ser mi mundo entero y mejor amiga, por ser quien estuvo esperando hasta altas horas de la noche a que yo llegara, por esforzarse día tras día para vernos felices, por mostrarme cada día que se puede ser una heroína sin capa y porque sin su apoyo y dedicación nada en mi vida sería lo mismo*

*A mi hermanito por día tras día darme ese abrazo, ese ánimo y esas cartas que solo me daban más fuerza para continuar, porque siempre espero poder estar a tu lado y mostrarte que ningún sueño o meta es imposible*

*Al que me acogió todo este tiempo como hija, Edilberto Murcia H; por su cariño, impulso e incondicional apoyo, por llegar a llenar de alegría y gratos recuerdos nuestra vida*

*A mis abuelos Juan y Rosa que son el pilar e inspiración de mi existencia. A Stefanny, porque este logro es de las dos como hermanas y aunque la vida nos separó, estarás en todo momento dentro de mi corazón.*

*A las demás partes de mí, Carlos, Amanda, Juan, tíos, primos y amigos que llenan mi vida con palabras de aliento y a todos los que de alguna manera siempre estuvieron a mi lado...*

~ María Fernanda Roberto

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por guiarnos a lo largo de nuestra carrera, por brindarnos fortaleza en momentos de dificultad y debilidad, por su infinita gracia y bendiciones.

A TECNOPARQUE SENA, nodo Bogotá, por brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de grado y su apoyo a lo largo del mismo.

A Ana María Gómez, nuestra gestora, por su guía paciencia ayuda y tiempo brindado en la culminación de este proyecto.

A Dany José Cárdenas y Nubia Liliana Becerra, nuestros jurados, que con paciencia y dedicación, nos llevaron a la perfección de nuestro proyecto.

Al ingeniero Oscar Chamarravi Guerra y Fabio Alejandro Gutiérrez, por brindarnos su apoyo en los momentos más oportunos.

A la ingeniera Elizabeth torres, nuestra asesora; por su apoyo, conocimiento, dedicación, comprensión y paciencia, ayudo a que este proyecto una realidad.

A nuestros amigos, Daniel Gutiérrez y Lina Cubillos, por la compañía y paciencia; Carolina Gutiérrez, Andrea Lucero, Jorge Rodríguez, Lucia Escobar, Luisa Rodríguez, Sebastián Arismendi y Tatiana Ruiz por crecer junto a nosotras y brindarnos su apoyo y ayuda en todo momento.

También queremos agradecer a la Universidad de América, directivos y profesores por la organización del programa de Ingeniería Química.



## CONTENIDO

	pág.
<b>OBJETIVOS</b>	24
<b>INTRODUCCIÓN</b>	25
<b>1. GENERALIDADES</b>	26
1.1 PVC	26
1.1.1 Estado actual	27
1.1.2 Aplicaciones	27
1.2 POLIÉSTER	27
1.2.1 Generalidades	28
1.2.2 Aplicaciones	28
1.3 TINTA DE IMPRESION	28
1.3.1 Compuestos principales	29
1.3.2 Tintas inyectables	29
1.3.3 Tintas flexográficas	30
1.4 TEXTILES PUBLICITARIOS	31
1.4.1 Urdimbre	32
1.4.2 Trama	32
1.5 BANNER	32
1.5.1 Tipo Frontlight	33
1.5.2 Banner o lona Mesh	33
1.5.3 Tipo Backlite	34
1.5.4 Tipo Blackout	
<b>2. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO</b>	34
2.1 PROCEDENCIA DEL RESIDUO	35
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL PVC	35
2.2.1 PVC	36
2.2.2 Tipo de PVC.	40
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE POLIÉSTER	48
2.3.1 Metodología de caracterización del tipo de poliéster	49
2.3.2 Ejecución de los métodos de caracterización de poliéster	49
2.3.3 Resultados de los métodos de caracterización	49
2.4 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE TINTA	51
2.4.1 Metodología de caracterización de la tinta	52
2.4.2 Ejecución del método de caracterización	54
2.4.3 Resultados del método de caracterización	56
2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES BASE	57
2.5.1 Métodos de caracterización física	58
2.5.2 Ejecución de los métodos de caracterización física	60
2.5.3 Resultados de los métodos de caracterización física	73
2.6 CONCLUSIONES DE CARACTERIZACIÓN FISICA	76

<b>3. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO MECÁNICO</b>	78
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	78
3.2 METODO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	82
3.2.1 Criterios de selección	82
3.2.2 Prioridad de los criterios	83
3.2.3 Escala de puntaje	84
3.2.4 Construcción de la matriz	84
3.3 APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS	85
3.3.1 Material compuesto reforzado con aserrín.	86
3.3.2 Material compuesto con lignocelulosa, plástico y adición de calor.	86
3.3.3 Reciclaje de productos poliméricos multimaterial mediante micronización.	87
3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	88
3.4.1 Propiedades materia prima	88
3.4.2 Ejecución de la propuesta	90
3.4.3 Caracterización material resultante	94
3.5 CONDICIONES TECNICAS DEL PROCESO ESCALADO	97
3.5.1 Cantidad de residuo a procesar	98
3.5.2 Condiciones generales del proceso	99
3.5.3 Descripción del proceso de aprovechamiento	100
3.5.4 Escalamiento de la propuesta de aprovechamiento mecánico	101
3.6 CONCLUSIONES	121
<b>4. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO</b>	123
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA MÉTODO QUÍMICO	123
4.1.1 Solvólisis	123
4.1.2 Separación por disolución	124
4.1.3 Despolimerización térmica	125
4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	126
4.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	127
4.3.1 Disolución selectiva.	127
4.3.2 Pirolisis.	128
4.3.3 Craqueo térmico.	129
4.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	129
4.4.1 Diseño de experimentos	129
4.4.2 Metodología del proceso de separación por disolución selectiva	131
4.4.3 Desarrollo del proceso de separación por disolución selectiva	132
4.4.4 Resultados	135
4.4.5 Análisis de resultados de diseño de experimentos	142
4.4.6 Caracterización del producto final	143
4.5 CONDICIONES TECNICAS DEL PROCESO ESCALADO	144
4.5.1 Descripción de proceso de separación	144
4.5.2 Condiciones del proceso escalado	145
4.6 CONCLUSIÓN	156
<b>5. ANALISIS COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	158

5.1 ANALISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO MECÁNICO	158
5.1.1 Costos de equipos y reactivos	158
5.1.2 Costos de mano de obra	159
5.1.3 Costos de terreno	160
5.1.4 Gasto energético	161
5.1.5 Precio comercial	162
5.1.6 Flujo de caja	163
5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO	164
5.2.1 Costos de equipos y reactivos	164
5.2.2 Costos de mano de obra	165
5.2.3 Costos de terreno	165
5.2.4 Gasto energético	166
5.2.5 Precio comercial	167
5.2.6 Flujo de caja	167
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>169</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>170</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>171</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>182</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Número de onda de grupos funcionales presentes en el PVC.	40
Tabla 2. Características del PVC rígido, PVC glass, PVC espumado y PVC flexible.	41
Tabla 3. Características del PVC proveniente de banner tipo brillante y banner tipo mate	48
Tabla 4. Numero de onda de grupos funcionales presentes en fibra de poliéster y poliéster tipo PET	51
Tabla 5. Grupos funcionales tinta removida con acetona	57
Tabla 6. Normas de estandarización.	58
Tabla 7. Corte de muestras resistencia a la rotura, sentido trama y urdimbre	62
Tabla 8. Probetas iniciales, resistencia al desgarro.	68
Tabla 9. Resultados obtenidos prueba de caracterización física.	73
Tabla 10. Peso de fabricación para cada tipo de banner	74
Tabla 11. Resultados ensayo resistencia a la rotura	75
Tabla 12. Resultados ensayo resistencia al desgarro.	76
Tabla 13. Resultado final de la caracterización del banner.	77
Tabla 14. Escogencia de alternativa de aprovechamiento mecánico.	85
Tabla 15. Masa retenida por tamiz	89
Tabla 16. Diferenciación entre los tipos de aglomerados	92
Tabla 17. Fuerzas empleadas en la flexión de los aglomerados.	95
Tabla 18. Cantidad de agua absorbida por los distintos aglomerados.	97
Tabla 19. Cantidad de materia prima necesaria para procesar el residuo de banner diario	101
Tabla 20. Corrientes del proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado)	104
Tabla 21. Convenciones del proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado)	104
Tabla 22. Capacidad requerida por hora en los equipos empleados en el proceso	113
Tabla 23. Energía requerida por lote para cada equipo	120
Tabla 24. Escogencia de alternativa de aprovechamiento químicas.	127
Tabla 25. Niveles bajo y alto en relación al factor a evaluar	130
Tabla 26. Resultados diseño de experimentos factorial	134
Tabla 27. ANOVA variable respuesta cantidad en gramos de PVC	136
Tabla 28. Promedio calculado de las interacciones presentes en el diseño de experimentos	139
Tabla 29. ANOVA variable respuesta cantidad en gramos de PET	141
Tabla 30. Interacciones presentes en la remoción de PET	141

Tabla 31. Proceso de tamizado de PVC recuperado	143
Tabla 32. Cantidad de materia prima necesaria para procesar el residuo de banner diario	145
Tabla 33. Corrientes del proceso de disolución selectiva	148
Tabla 34. Convenciones del proceso aprovechamiento químico	148
Tabla 35. Capacidad requerida por hora en los equipos empleados en el proceso	152
Tabla 36. Energía requerida por equipo	155
Tabla 37. Equipos necesarios para el desarrollo de la propuesta	159
Tabla 38. Reactivos necesarios para el desarrollo de la propuesta para un mes de producción	159
Tabla 39. Gastos de mano de obra mensual.	160
Tabla 40. Área requerida para la instalación de la planta.	160
Tabla 41. Gasto energético mensual asociado a equipos	162
Tabla 42. Inversión inicial.	162
Tabla 43. Proyección del costo del aglomerado a 5 años	163
Tabla 44. Flujo de caja	163
Tabla 45. Equipos necesarios para el desarrollo de la propuesta	164
Tabla 46. Reactivos necesarios para el desarrollo de la propuesta en un mes de funcionamiento.	165
Tabla 47. Gastos de mano de obra mensual.	165
Tabla 48. Área requerida para la instalación de la planta.	166
Tabla 49. Gasto energético mensual asociado a equipos	167
Tabla 50. Inversión inicial.	167
Tabla 51. Proyección del costo del aglomerado a 5 años	168
Tabla 52. Flujo de caja	168

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Estructura química del Policloruro de vinilo.	27
Imagen 2. Estructura química del poliéster.	28
Imagen 3. Diferenciación de los lados en la tela.	31
Imagen 4. Diferenciación de trama y urdimbre en la tela.	32
Imagen 5. PVC/PET Banner	33
Imagen 6. Bromuro de potasio	36
Imagen 7. Volumen inicial de agua 5 cm <sup>3</sup>	43
Imagen 8. Volumen final para PVC de banner tipo brillante, primer ensayo	44
Imagen 9. Volumen final para PVC de banner tipo brillante, replica	45
Imagen 10. PVC banner tipo brillante y tipo mate antes del tratamiento con ácido fuerte.	46
Imagen 11. PVC banner tipo brillante y tipo mate primer cambio a la afectación por ácido fuerte	46
Imagen 12. PVC presente en el banner tipo mate y banner tipo brillante al transcurrir 30 minutos en exposición a él ácido fuerte.	47
Imagen 13. PVC banner tipo brillante contraluz	48
Imagen 14. Fibra de poliéster proveniente del banner	49
Imagen 15. Pastilla de la mezcla de KBr y tinta prensada.	52
Imagen 16. Muestra de tinta obtenida con acetona hasta evaporación parcial de solvente.	54
Imagen 17. Muestra de tinta obtenida con 2-etoxietanol hasta evaporación parcial de solvente.	54
Imagen 18. Montaje ensayo de rotura máquina universal de medida	63
Imagen 19. Resultado ensayo de rotura banner reciclado tipo brillante	65
Imagen 20. Resultado banner reciclado tipo mate	67
Imagen 21. Desgarro a través de la trama.	69
Imagen 22. Fuerza de desgarro por milímetro de longitud, banner reciclado brillante.	71
Imagen 23. Distribución de la masa inicial de aserrín.	90
Imagen 24. Moldes para fabricación de aglomerados	92
Imagen 25. Distinción del tamaño de banner utilizado en los aglomerados 1 y 2.	93
Imagen 26. Muestra de resultado final de los aglomerados elaborados.	94
Imagen 27. Proceso de separación del PVC, PET	133
Imagen 28. Resultado final al obtener PVC	133
Imagen 29. Resultado final al obtener PET	134
Imagen 30. Bodega de 150 m <sup>2</sup> ciudad de Bogotá.	161

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Procedimiento para caracterización de PVC, análisis FTIR.	37
Diagrama 2. Procedimiento para caracterización del tipo de PVC evaluando densidad, resistencia a ácidos fuerte y opacidad.	42
Diagrama 3. Proceso de extracción de tinta con solventes.	53
Diagrama 4. Esquema de flujo, fabricación de aglomerados.	91
Diagrama 5. Fabricación de material compuesto.	102
Diagrama 6. Proceso de fabricación del material compuesto aglomerado	103
Diagrama 7. Alimentación tamiz	106
Diagrama 8. Horno de secado	107
Diagrama 9. Tanque de lavado	107
Diagrama 10. Horno de secado	108
Diagrama 11. Remoción manual de partes metálicas.	109
Diagrama 12. Molienda	109
Diagrama 13. Alimentación tamiz	110
Diagrama 14. Etapa de mezcla	111
Diagrama 15. Vertimiento en los moldes	111
Diagrama 16. Etapa de prensado	112
Diagrama 17. Etapa final	112
Diagrama 18. Metodología proceso de separación por disolución selectiva en donde todos los niveles son bajos	132
Diagrama 19. Separación por disolución selectiva	146
Diagrama 20. Proceso de separación por disolución selectiva	147
Diagrama 21. Etapa de separación	150
Diagrama 22. Etapa de recuperación de PVC	151
Diagrama 23. Separación solvente pigmentos	151

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Espectro PVC proveniente del banner	38
Gráfica 2. Lectura grupos funcionales de espectro PVC proveniente del banner.	40
Gráfica 3. Lectura grupos funcionales presentes en el poliéster proveniente del banner.	50
Gráfica 4. Espectro generado por la tinta extraída con acetona.	55
Gráfica 5. Espectro generado por la tinta extraída con 2-etoxietanol.	55
Gráfica 6. Espectro generado por la tinta extraída con acetona.	56
Gráfica 7. Espectro generado por la tinta extraída con 2-etoxietanol.	57
Gráfica 8. Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner brillante a través de la urdimbre.	64
Gráfica 9. Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner reciclado tipo brillante a través de la urdimbre y a través de la trama.	65
Gráfica 10. Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner tipo mate a través de la urdimbre y a través de la trama.	66
Gráfica 11. Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner reciclado tipo mate a través de la urdimbre y a través de la trama.	68
Gráfica 12. Fuerza de desgarramiento por milímetro de longitud a través de la urdimbre, banner brillante.	70
Gráfica 13. Fuerza de desgarramiento por milímetro de longitud a través de la trama, banner reciclado tipo mate.	72
Gráfica 14. Fuerza de desgarramiento por milímetro de longitud a través de la urdimbre, banner reciclado tipo mate.	72
Gráfica 15. Diagrama de barras, alternativas de aprovechamiento mecánico.	85
Gráfica 16. Flexión de aglomerados con dimensiones de 10cm x 4cm.	95
Gráfica 17. Distribución porcentual de empresas registradas ante en DANE según la región	99
Gráfica 18. Distribución porcentual de empresas registradas ante en DANE según departamentos con más cantidad de empresas	99
Gráfica 19. Diagrama de barras, alternativas de aprovechamiento químico.	127
Gráfica 20. Diagrama de Pareto extracción de PVC	140
Gráfica 21. Diagrama de Pareto extracción de PET	142



## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Propuestas de aprovechamiento mecánico, ventajas y desventajas de aplicación.	79
Cuadro 2. Tamizador doble cubierta	114
Cuadro 3. Horno de secado	114
Cuadro 4. Tanque de lavado	115
Cuadro 5. Molino especial para plásticos	116
Cuadro 6. Tamizadora línea vibratoria	116
Cuadro 7. Tanque de mezclado	117
Cuadro 8. Prensa hidráulica	118
Cuadro 9. Tanque de almacenamiento (líquidos)	118
Cuadro 10. Tanque de almacenamiento (sólidos)	119
Cuadro 11. Tanque de mezclado con calentamiento	153
Cuadro 12. Centrifuga	153
Cuadro 13. Spray dryer	154

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
Ecuación 1. Ecuación cálculo de densidad absoluta	44
Ecuación 2. Cálculo del peso por unidad de área	61
Ecuación 3. Sumatoria de puntaje para criterios de selección.	84
Ecuación 4. Determinación del contenido de humedad.	88
Ecuación 5. Balance de masa	106
Ecuación 6. Balance de energía	119
Ecuación 7. Cálculo del costo energético.	161
Ecuación 8. Cálculo del costo energético.	166

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Espectro de PVC universidad EAN.	39
Figura 2. Grupos funcionales presentes en el espectro de PET	50
Figura 3. Corte de muestras para resistencia al desgarro método de rasgadura única.	60
Figura 4. Proceso para recuperación de solventes empleados en disolución selectiva.	125

## LISTA DE PLANOS

	<b>pág.</b>
Plano 1. Planta proceso de producción fabricación de material compuesto (aglomerado).	122
Plano 2. Planta proceso de separación por disolución selectiva	157

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica papeles adhesivos (ADH), banner 13 onzas.	183
Anexo B. Ficha técnica Sky Color, banner 13 onzas.	183
Anexo C. Diagrama, modo de operación norma ISO 3801 y sus respectivos métodos de ensayo.	184
Anexo D. Diagrama de calibración e imagen de la máquina de ensayo de tracción.	185
Anexo E. Diagrama de operación ensayo resistencia a la rotura.	186
Anexo F. Diagrama de flujo proceso de resistencia al desgarro.	187
Anexo G. Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros para los tipos de banner.	188
Anexo H. Resistencia a la rotura, deformación presentada por cantidad de tensión aplicada para los tipos de banner.	189
Anexo I. Resultados de las pruebas de caracterización, resistencia al desgarro.	193
Anexo J. Empresas comercializadoras de Banner 13 onzas y sus características mecánicas.	195
Anexo K. Resultados de resistencia a la flexión, material compuesto o aglomerado.	195
Anexo L. Datos hallados experimentalmente.	198
Anexo M. Diseño de experimentos, disolución selectiva.	200
Anexo N. Datos utilizados para la elaboración de los diagramas de Pareto.	205
Anexo O. Supuestos para comprobación de validez del ANOVA.	206

## GLOSARIO

**DIN:** acrónimo de instituto alemán de normalización, son estándares técnicos de calidad de los productos industriales y científicos.

**ISO:** acrónimo de Organización Internacional de Normalización, son normas de fabricación y comercio.

**DENNIER:** se define como la unidad de medida de sistema inglés (SI) que corresponde a la densidad lineal de masa de fibras.

## RESUMEN

El proyecto expuesto se enfocó en definir las diferentes condiciones para el desarrollo de una propuesta de aprovechamiento de los polímeros presentes en los desechos del textil publicitario banner; con el fin de buscar una alternativa factible para la reutilización de materiales potencialmente contaminantes, mitigando la acumulación de dichos desechos en los rellenos sanitarios. El avance del trabajo se asentó en establecer una propuesta para el método mecánico y una para el método químico de aprovechamiento individualmente, generando el análisis técnico y financiero de las mismas.

Para cumplir con esto inicialmente se realizó la caracterización de los materiales presentes mediante el análisis de espectroscopia por transformada de Fourier, cuyos resultados mostraron que la composición del banner consistía en PVC flexible, poliéster tipo PET y tintas base solvente; posterior a esto se efectuaron pruebas de resistencia a la rotura y al desgarro bajo las normas DIN 53354 y 53356 respectivamente, definiendo así las características mecánicas del material.

Se dividieron las alternativas de aprovechamiento en dos grupos, el primero presentaba las propuestas que incorporaran el banner como material para la fabricación de un producto a través de un aprovechamiento mecánico, desarrollando así un material compuesto reforzado con aserrín o aglomerado que contó con la mejores características de resistencia a la flexión y absorción de humedad para una proporción del 50% banner y 50% aserrín, con tamaño de partícula del polímero de 16 mm<sup>2</sup> y fabricación en mezcla única con la resina de poliéster y alcohol polivinílico en igual proporción de 50-50 entre ellas. El segundo grupo buscaba la separación del policloruro de vinilo y el poliéster por medio de un método químico, habiendo seleccionado la disolución selectiva como método de separación, en donde se involucró el tamaño de partícula, la concentración de solvente, la velocidad de agitación, proporción de polímero en solvente como factores y la interacción entre ellos; en dicho desarrollo metodológico la mayor extracción de PVC se obtuvo con la interacción de la concentración de solvente y la proporción del polímero en solvente siendo estos 100 % de xileno y 10 % de polímero respectivamente y para la mayor extracción de PET influía el 100 % de solvente (xileno). Dichas propuestas se destacaron en la matriz de decisión de PUGH donde se definieron los criterios más influyentes para la toma de una decisión objetiva. Una vez desarrolladas las propuestas de aprovechamiento se obtuvo un VPN para el material compuesto de \$ 7 777 291 731 y para la disolución selectiva un valor de \$ 58 877 901, destacando la viabilidad de ambas propuestas.

**Palabras clave:** Disolución selectiva, aglomerado, PVC, PET, banner, polímeros.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de aprovechamiento de policloruro de vinilo y poliéster partiendo de textil comercial.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características de los componentes presentes en la lona vinílica.
- Evaluar las alternativas de aprovechamiento de policloruro de vinilo y poliéster de la lona vinílica mediante un método físico y uno químico.
- Especificar las condiciones técnicas de los procesos a escala industrial.
- Realizar la evaluación financiera del proceso de aprovechamiento.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la publicidad funciona como la principal herramienta de comunicación, permitiendo divulgar la información de países, servicios, productos, etc. Entre los tipos de publicidad destacada se encuentra la publicidad física visual que se ha convertido en un medio masivo de comunicación, cuya ventaja se centra en llegar a las personas a través de un mensaje claro y conciso que llame la atención del espectador; la mejor manera de lograr esto es haciendo uso de materiales duraderos que exhiban la calidad de impresión lograda a través del uso de tintas llamativas. No obstante, la calidad y resistencia de estos materiales genera que estos sean difíciles de desechar debido a su largo tiempo de descomposición, implicando así un problema medio ambiental.

Los textiles publicitarios como los banners hacen parte importante de esta problemática dado que al estar compuestos por polímeros termoplásticos son llevados a los principales rellenos sanitarios del territorio, en donde se generan gases y lixiviados contaminantes. En Colombia se producen aproximadamente 21.983 unidades de banner al año, cuya composición es principalmente PVC que emplea un tiempo de degradación mayor a 100 años<sup>1</sup>.

Esta problemática en crecimiento ha llevado a que se estime que para el año 2050 se habrán generado 34.000 toneladas de residuos plásticos, de los cuales solo se habrán reciclado 9.000 toneladas e incinerados y acumulados se encontrarán 24.000 toneladas repartidas uniformemente que estarán afectando el ecosistema<sup>2</sup>.

Como solución para esto se propone la implementación de alternativas de aprovechamiento enfocadas en el reciclaje mecánico y químico que se fundamentan en la puesta en marcha de la economía circular, donde se busca que los productos que salgan al mercado se mantengan el mayor tiempo posible en la economía para así generar la menor cantidad de residuos<sup>3</sup>

La metodología consistió en la caracterización del banner para verificar la composición y las propiedades mecánicas de dicho material. Posteriormente se evaluaron las distintas alternativas que pueden ser desarrolladas a partir de los materiales con los que se cuenta, estableciendo las condiciones necesarias para realizar un escalamiento y finalmente obtener la viabilidad económica de montar la planta física.

---

<sup>1</sup>AMBIENTEBOGOTA. publicidad. [en línea]. [consultado el 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/publicidad-externo-visual.-pev>,

<sup>2</sup> COMPROMISOECO. Conoce cuánto tarda en degradarse los materiales. [en línea]. [consultado el 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://compromisoeco.com.ar/residuos/conoce-cuanto-tardan-en-degradarse-los-materiales/>.

<sup>3</sup> GEYER. Production, use, and fate of all plastics ever made: Science Advances (2017).

## 1. GENERALIDADES

Los procesos de reciclaje de productos poliméricos compuestos por PVC / poliéster se centran en cuatro grupos, estos son: abandono en vertederos, incineración, reciclaje químico y reciclaje mecánico; debido a la contaminación generada, los dos primeros resultan desfavorables.

Actualmente el reciclaje químico es empleado para el tratamiento de residuos de películas laminadas que están conectadas entre sí, donde es difícil identificar el polímero presente, por lo que son considerados residuos mixtos; este proceso se lleva a cabo con el fin de tratar los residuos de polímeros mediante calor, agentes químicos y catalizadores, los productos que se obtienen pueden ser estables y reutilizados para producir el mismo polímero o uno relacionado.

El reciclaje mecánico está limitado por los efectos del ciclo de vida útil y las dificultades para obtener materia prima suficientemente limpia; los procesos convencionales de este tipo de reciclaje implican el uso de operaciones unitarias como molienda y separación, igualmente al emplear el reciclaje mecánico es necesario utilizar polímeros de pre-consumo y polímeros post-consumo que permitan hacer nuevos productos plásticos<sup>4</sup>.

### 1.1 PVC

El PVC es considerado el termoplástico más versátil. En su composición están presentes tres elementos naturales: carbono e hidrógeno, en forma de etileno derivado del petróleo o gas y cloro, obtenido a partir de la sal común.

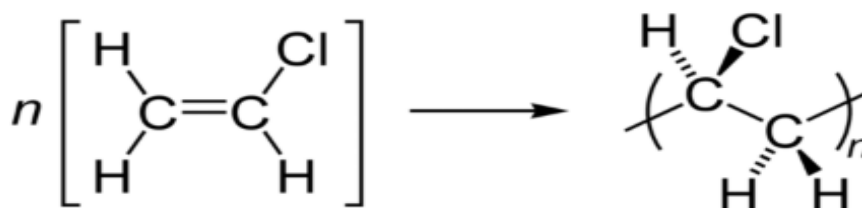
Mediante la combinación del etileno y el cloro se obtiene el monómero cloruro de vinilo como se observa en la **Imagen 1**, que a su vez se polimeriza mediante procesos de suspensión, emulsión o masa, para obtener como resultado el PVC en su estado de resina virgen. En una etapa siguiente la resina se mezcla con diversos aditivos para obtener compuestos que incorporan así todas las propiedades requeridas para su procesamiento y uso. Dependiendo de los aditivos seleccionados, los productos de PVC pueden ser totalmente rígidos o flexibles, transparentes u opacos y adquirir cualquier forma, textura o color<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> SADAT, M. Reciclaje de residuos de PVC. 2010

<sup>5</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. red justicia ambiental Colombia. Bogotá D.C: Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2004.

**Imagen 1.** Estructura química del Policloruro de vinilo.



**Fuente:** LIFEDER. Policloruro de vinilo [Consultado el 5 de octubre 2018].  
Disponble en: <https://www.lifeder.com/policloruro-vinilo/>

**1.1.1 Estado actual.** El cloruro de polivinilo (PVC) es uno de los materiales termoplásticos utilizados más comúnmente en relación con el consumo de polímero en todo el mundo. A nivel mundial, la demanda de PVC supera los 35 millones de toneladas por año, y ocupa el segundo lugar sólo después de polietileno como líder en volumen en la industria del plástico<sup>6</sup>.

**1.1.2 Aplicaciones.** El PVC se puede procesar en una amplia variedad de productos tales como materiales de embalaje utilizados en los alimentos, materiales de limpieza, textiles, botellas de envasado de bebidas y dispositivos médicos, y también productos de larga duración, tales como tuberías, marcos de ventanas, aislamiento de cables, Florida pavimentos de revestimientos, Roo fi hojas de NG, etc.<sup>7</sup>

## 1.2 POLIÉSTER

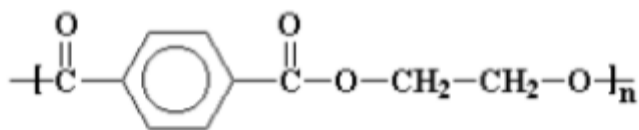
El poliéster es una fibra sintética ampliamente usada en la industria textil, derivada del carbón, el aire, el agua y el petróleo, en la **Imagen 2** se muestra su fórmula química.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. red justicia ambiental Colombia. Op. Cit.,p.26.

<sup>7</sup> COMPROMISOECO. Op. Cit.,p.25.

<sup>8</sup> ALLTEX. Ventajas de polyester. [En línea] [consultado el 5 de octubre de 2018.] Disponible en: <http://www.alltex.com.co/ventajas-de-poliester>.

**Imagen 2.** Estructura química del poliéster.



**Fuente:** Tomada de Organic chemistry, structure and reactivity. Third edition Seyhan. E, 2000.

**1.2.1 Generalidades.** Las fibras de poliéster se forman a partir de la polimerización por pasos de dos moléculas, una de ácido dicarboxílico y una molécula de dialcohol que se unen por un enlace tipo éster; en esta reacción las moléculas se combinan para formar una única cadena de amplia longitud. Las fibras de poliéster pueden formar moléculas muy iónicas que resultan ser estables y fuertes<sup>6</sup>.

**1.2.2 Aplicaciones.** El poliéster se utiliza en la fabricación de muchos productos, incluidos prendas de vestir, muebles para el hogar, telas industriales y aislamiento eléctrico. Este no absorbe la humedad, pero sí absorbe el aceite, cualidad que lo hace ser el tejido perfecto para la aplicación de acabados resistentes al agua, al suelo y al fuego. Su baja absorbencia también lo hace naturalmente resistente a las manchas.

La ropa de poliéster puede haber sido sometida a un proceso de encogimiento previo en el proceso de acabado y, a partir de entonces, la tela resiste el encogimiento y no se deforma. Las fibras de poliéster texturadas son un aislante no alergénico eficaz, por lo que el material se utiliza para rellenar almohadas, mostrando que posee varias ventajas sobre los tejidos tradicionales como el algodón<sup>9</sup>.

### 1.3 TINTA DE IMPRESION

La tinta es una mezcla homogénea formada por sustancias complejas y de distinta naturaleza química que varían dependiendo el proceso de impresión en el que vayan a ser usadas, teniendo las tintas inyectables y las tintas flexográficas como los dos tipos de tinta principales. Igualmente, estos dos tipos de tinta se subdividen dependiendo las propiedades que tengan en cuanto al asentamiento sobre una superficie en concreto<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> SEDIGHEH, H.; HOSSEIN, M. Improving the conductivity of polyaniline- coated polyester textile. En: optimizing the synthesis conditions., 2015.

<sup>10</sup> ECODISEÑOY.informe aido tintas. [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019] Disponible en:<http://www.cigcv.com/rs/114/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/1da/fd/1/filename/da060095-informe-aido-tintas.pdf>

**1.3.1 Compuestos principales.** La mayoría de las tintas encontradas en el mercado tienen en su composición el pigmento, la resina o polímero y el disolvente, que cumplen su función en las propiedades físicas de las mismas.

**1.3.1.1 Pigmento.** Sustancia insoluble que crea una dispersión de partículas de menos de un micrón de tamaño, dándole a la imagen impresa color, y volumen, además de resistencia a la luz y al agua. Es clasificado por su composición química como pigmento inorgánico u orgánico, ofreciéndole el primero aumentar el brillo a la tinta, mientras que el segundo le da un color más saturado a la misma<sup>11</sup>.

**1.3.1.2 Resina y/o polímeros.** Estos aportan a la tinta propiedades como adhesión y flexibilidad; permiten la dispersión del pigmento actuando como un vehículo para la impresión y conservan dicho pigmento en el sustrato. Pueden ser naturales o sintéticos como la nitrocelulosa, utilizada en tintas para embalaje, o como los acrilatos respectivamente.<sup>7</sup>

**1.3.1.3 Disolventes.** Su principal función es la de disolver la resina o polímero sin disolver o dañar el pigmento o al portador de imagen (la base donde será colocada la imagen), proporcionando la viscosidad requerida por la tinta y el tiempo de secado. En la tinta puede estar presente solo un tipo de disolvente o varios además de co-solventes que dan a la misma tensión superficial; dependiendo del tipo de disolvente las tintas pueden ser a base agua o a base solvente.<sup>12</sup>

**1.3.2 Tintas inyectables.** Empleadas en el método de inyección de tinta para impresión, que basa su funcionamiento en la dosificación de gotas sobre un material, poseen características especiales para no obstruir la boquilla de inyección, dejándose manejar en un rango de temperaturas que va desde los 5°C a 45°C<sup>13</sup>. Estas también definen el espesor de la impresión puesto que el mismo varía dependiendo la cantidad de sólidos presentes en la tinta y el tamaño de la gota, que se mantiene en forma esférica al conservar la tinta una tensión superficial entre 22-45 mN/m<sup>14</sup>. Los tipos de tinta empleadas mayoritariamente son las de cambio de fase, base solvente, base agua y UV-curado.

**1.3.2.1 Cambio de fase.** Estas cambian de fase antes de ser impresas, de sólidas a líquidas, con un secado y solidificación rápidos que no permiten que se extienda; sus inconvenientes son la falta de durabilidad y baja resistencia a la abrasión.<sup>11</sup>

**1.3.2.2 Base solvente.** Utilizadas en grandes formatos como el caso de las vallas publicitarias, poseen una larga duración, son compatibles con la mayoría de

---

<sup>11</sup> PRINTING INK. Formulations, Alexandra P and Veronika H.

<sup>12</sup> Sedigheh H, Hossein M, Op.cit., p. 28

<sup>13</sup> SPRINGER. Hudd, A. The printing ink manual. En: INK E JET INKS. 2008.

<sup>14</sup> INK REQUIREMENTS AND FORMULATIONS GUIDELINES. Op. cit., p.30.

sustratos o bases disponibles dada su buena adhesión, además de su bajo costo; se caracteriza por su secado rápido puede generar daños en las boquillas de las impresoras.<sup>10</sup> Liberan compuestos orgánicos volátiles contrario a las tintas eco-solventes<sup>15</sup> que en su composición presentan líquidos totalmente biodegradables y menos tóxicos, pero que entregan una menor calidad en la nitidez de la imagen.

**1.3.2.3 Base agua.** Su principal ventaja es que no representa una amenaza para el medio ambiente y que son económicas en el mercado. Actualmente no se encuentran en gran parte de las aplicaciones industriales a escala debido a que los cabezales para impresión no vienen adaptados para la formulación de este tipo de tintas<sup>16</sup>.

**1.3.2.4 UV- curado.** Se diferencia de los demás tipos de tinta en que su fijación a la base no se da por secado térmico con la eliminación de disolventes volátiles sino por secado químico con la unión de enlaces con energía luminosa. Este mecanismo se puede implementar dado que la tinta de UV-curado está compuesta por materiales reactivos sensibles a la luz ultravioleta en diferentes longitudes de onda<sup>17</sup>.

**1.3.3 Tintas flexográficas.** Aplicadas en la impresión por el método de flexografía que hace uso del relieve en sus rodillos para dejar impresa una imagen en el sustrato, principalmente en materiales no porosos como los empleados en los envases de alimentos<sup>18</sup>, hace uso de la tinta base agua, base solvente y UV-curado al igual que la impresión por inyección de tinta.

Actualmente el cambio de la industria a favor del medioambiente busca alternativas como las tintas de curado por haz de electrones EB-curado, que no generan irritación en la piel y olor en la tinta al eliminar el fotoiniciador presente en las tintas UV-curado; igualmente se reduce el uso de las tintas base solvente por los compuestos volátiles presentes en ésta y en su lugar hacen uso de las tintas en base agua que son más rentables además de no contaminantes.<sup>19</sup>

---

<sup>15</sup> COLORMAKE. Tinta eco-solvente [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://colormake.com/una-tinta-eco-solvente/>

<sup>16</sup> MAGDASSI, S INK REQUIREMENTS AND FORMULATIONS GUIDELINES. En: The chemistry of inkjet inks: World Scientific.2010

<sup>17</sup> SHUKLA, Vipin.; BAJPAI, Madhu. OVERVIEW ON BASIC CHEMISTRY OF UV- CURING TECHNOLOGY. En: pigmentos y tecnología de resina. Octubre, 2004, pág. 272-279.

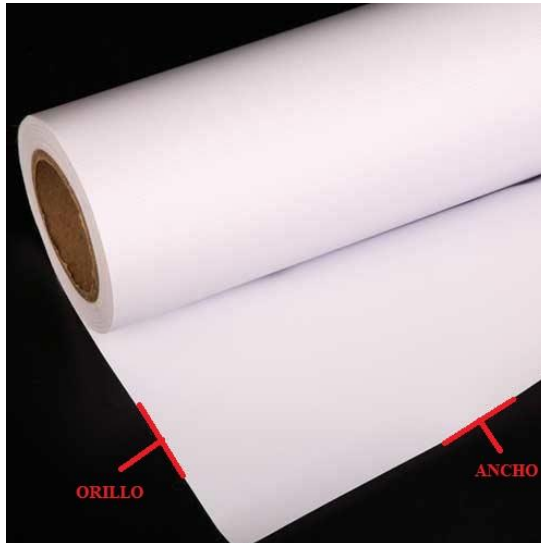
<sup>18</sup> ONLINEPRINTFILE. Procesos de impresión [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://onlineprintfile.com/knowledge/PrintProcesses.pdf>.

<sup>19</sup> PRINTING INK. Op.cit.,p. 29.

## 1.4 TEXTILES PUBLICITARIOS

Las campañas publicitarias hacen uso de los distintos medios de comunicación, siendo el medio impreso uno de los más antiguos y usados, donde según cifras del DANE (departamento administrativo nacional de estadística) fueron vendidos 209.833 unidades tipo vallas, avisos y similares en el año 2007<sup>20</sup>; entre la gran variedad de avisos usados en publicidad existen el roll up hecho de polipropileno, la valla vinílica. La lona es una mezcla de textil polímeros y tela fabricada únicamente en poliéster<sup>21</sup>. En las telas es importante diferenciar los hilos por su dirección, sea esta transversal o longitudinal; igualmente se diferencian sus dos lados como orillo y ancho, donde el orillo será perpendicular al rollo y por el contrario el ancho es el que se encuentra paralelo al rollo como se observa en la **Imagen 3**.

**Imagen 3.** Diferenciación de los lados en la tela.



**Fuente:** SHOWDEPOT. Fábrica de vallas [Consultado el 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.showdepot.com.mx/classified.php/listing/868>

---

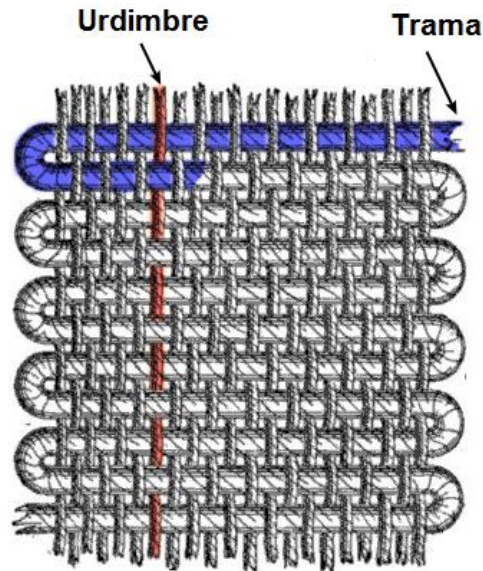
<sup>20</sup> FORMULARIOS DANE. Campañas publicitarias [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://formularios.dane.gov.co/encuestas/eam/mostrar2.php?Years=2002&cadenabus=&todos=todo&actoper=perso&x=28&y=11>

<sup>21</sup>CLICKPRINTING. Trama y urdimbre [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.clickprinting.es/>

**1.4.1 Urdimbre.** La urdimbre o recta hilo presenta sus hilos longitudinales o lo que es igual, paralelos al orillo. Estos hilos se mantienen en tensión en un marco o telar.

**1.4.2 Trama.** También llamado contrahílo, es la serie transversal que se cruza con la urdimbre, paralela al ancho de la tela como se muestra en la **Imagen 4**<sup>22</sup>.

**Imagen 4.** Diferenciación de trama y urdimbre en la tela.



**Fuente:** DISEÑO DE INDUMENTARIA. Tejidos de calada [Consultado el día 25 de marzo 2019]. Disponible en: <https://diseniodeindumentaria2.files.wordpress.com/2008/04/tejidos-de-caladapdf.pdf>

## 1.5 BANNER

Banner o PVC/PET banner es un tipo de lona fina o gruesa<sup>23</sup>, usada como base para la impresión de carteles que contienen publicidad o información dirigida al público, es empleado en impresiones de alta resolución, para usos roll up, afiches y pancartas; es compatible con tintas a base solvente, eco- solvente y UV-curado<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> DISEÑO DE INDUMENTARIA. Trama [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://diseniodeindumentaria2.files.wordpress.com/2008/04/tejidos-de-caladapdf.pdf>

<sup>23</sup> ARCLAD. lonas banner [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.arclad.com/es/fichas-tecnicas/lonas-banner>

<sup>24</sup> COPRODI. PVC/PET banner [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019], Disponible en: <https://coprodi.com.ar/lonas/pvc-pet-banner>



El banner mostrado en la **Imagen 5** está compuesto por tres capas, dos capas de PVC con una capa de poliéster en medio, donde el poliéster proporciona flexibilidad mientras que el PVC confiere al tejido características impermeables y de resistencia al desgaste, permitiendo ser expuesto al exterior<sup>25</sup>. Dependiendo de ciertas características en el material el banner se clasifica en frontlight, mesh, backlight y blackout.

**Imagen 5.** PVC/PET Banner



**Fuente:** ACRILICOS. Lona banner superflex [Consultado el día 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.acrilicos.com/blog/preguntas-frecuentes-de-la-lona-banner-superflex-13-onzas/>

**1.5.1 Tipo Frontlight.** Banner de tonalidad blanca y acabado brillante o mate. Diseñado para iluminación frontal al no dejar pasar la luz desde la parte posterior. Es el tipo más solicitado en el mercado por características como su precio y resistencia<sup>26</sup>.

**1.5.2 Banner o lona Mesh.** Se diferencia de los otros tipos de banner en que presenta a lo largo de su estructura micro perforaciones que permiten que el viento lo atraviese y no lo dañe al evitar el “efecto vela” o soplado de la tela<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup> T. SAGA, G. VAIBHAV. Enfoque rentable y sostenible para transformar el vinilo al final de su vida útil banner para valorar el product. 2018

<sup>26</sup> SPSERVICIOSGRAFICOS. Lonas publicitarias [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.spserviciosgraficos.com/blog/tipos-de-lonas-publicitarias/>

<sup>27</sup> CLICKPRINTING. Lona mesh [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.clickprinting.es/blog/tipos-de-lonas-publicitarias-que-existen>

**1.5.3 Tipo Backlite.** Banner translucido que permite el paso de la luz desde ambas caras, permitiéndole ser usado de día o noche, en exteriores o interiores. <sup>22</sup>

**1.5.4 Tipo Blackout.** Se caracteriza por llevar en su interior una lámina negra, que le confiere mayor opacidad y permite que sea utilizada para la impresión por ambas caras sin que alguna de las imágenes se revele en la cara posterior por efecto de la luz. <sup>22</sup> Sobre éste se pueden emplear tintas base solvente y UV-curado<sup>28</sup>.

---

<sup>28</sup> SKYCOLORS. Lona blackout [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://skycolors.com.co/pdf/banner%20doble%20cara.pdf>

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

En el siguiente apartado se establecen las principales características físicas y químicas que se presentan en los residuos de banner tratados.

### 2.1 PROCEDENCIA DEL RESIDUO

El material usado para la caracterización física y química proviene de residuos de material plástico adquiridos como restos de publicidad de locales comerciales, los cuales presentan tintas en su cara posterior; estos son fabricados en PVC y poliéster tipo PET junto con aditivos que le confieren características como flexibilidad y durabilidad. Por otra parte, para evaluar el efecto generado por el desgaste se seleccionaron banners de 13 onzas nuevos que fueron suministrados por las empresas ADH y Sky Colors.

- **Polímeros empleados.** Las muestras de banner tipo mate y brillante a analizar se tomaron de las empresas Papelería y adhesivos ADH y Sky Colors, cada empresa suministra junto con su producto la ficha técnica como se muestran en el **Anexo A** y **Anexo B** respectivamente, teniendo en cuenta que estas no hacen distinción entre el acabado final del banner (mate o brillante), pero sí en la cantidad de onzas que estos presentan. Las fichas presentadas son de banner 13 onzas, estas tienen en común la construcción del tejido de 18 x 12 y 300 x 500 en denier, en donde denier se refiere al número de cuerdas por pulgada cuadrada y la orientación de las mismas; para este caso encontramos 18 cuerdas en sentido perpendicular compuestas por 300 hilos y 12 cuerdas en sentido paralelo compuestas por 500 hilos<sup>29</sup>.

### 2.2 CARACTERIZACIÓN DEL PVC

Cuando se adquiere el banner de forma comercial se sabe que es una película polimérica compuesta por una capa de poliéster y recubierta por una capa de PVC en cada cara. Inicialmente se debe establecer si este recubrimiento si es PVC y si es así determinar qué tipo de PVC se tiene, para esto se realiza análisis como se muestra a continuación.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> ACRILICOS. PVC acrílicos [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019. Disponible en:]<http://www.acrilicos.com/blog/preguntas-frecuentes-de-la-lona-banner-superflex-13-onzas>

<sup>30</sup> COPRODI. Lona front [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://coprodi.com.ar/lonas/lona-front/>

**2.2.1 PVC.** Polímero termoplástico de cadena lineal formado a partir de monómeros de cloruro de vinilo o cloroetileno<sup>31</sup>; como se mencionaba en el ítem anterior es necesario hacer verídica la información ofrecida por la literatura, para esto se procede a realizar un análisis de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) del cual se deberían obtener por transmitancia los grupos funcionales presentes en la estructura de PVC.

**2.2.1.1 Metodología de caracterización del PVC.** Para poder realizar el análisis se separó una de las capas de PVC del banner y se tomó una muestra para posteriormente ser macerada con cristales de bromuro de potasio (KBr), compuesto mostrado en la **Imagen 6** y seguir el procedimiento descrito en el **Diagrama 1**, el cual muestra la metodología para poder ejecutar el análisis FTIR con la maquina facilitada por la Pontificia Universidad Javeriana llamada IRPrestige-21 marca Shimadzu.

**Imagen 6.** Bromuro de potasio

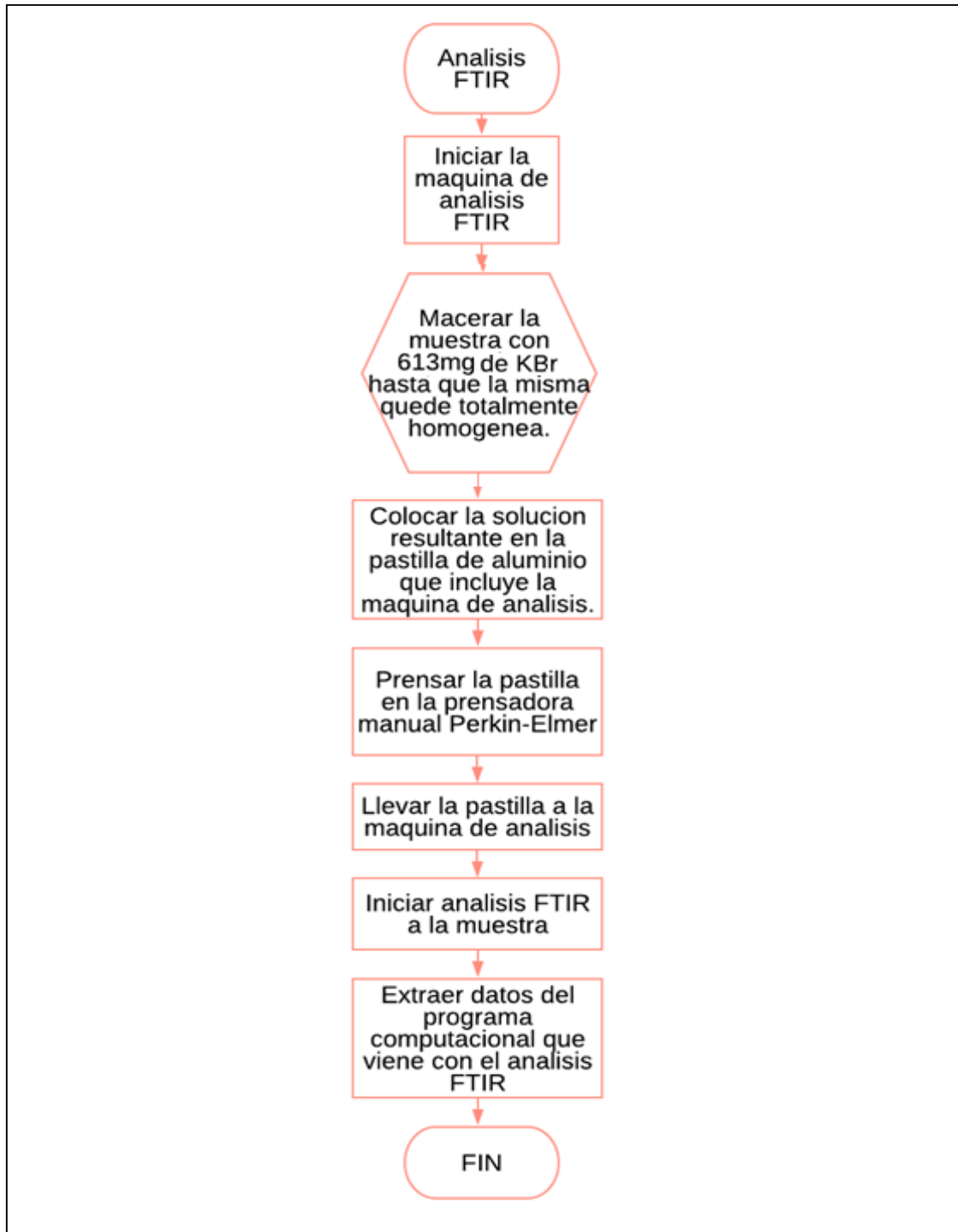


**Fuente:** INDIAMART. Potassium bromide. [ Consultado el día 10 de julio 2019]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/potassium-bromide-11029494462.html>

---

<sup>31</sup> LENNTECH.Estructura PVC [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]<https://www.lenntech.es/polyvinyl-chloride-pvc.htm>

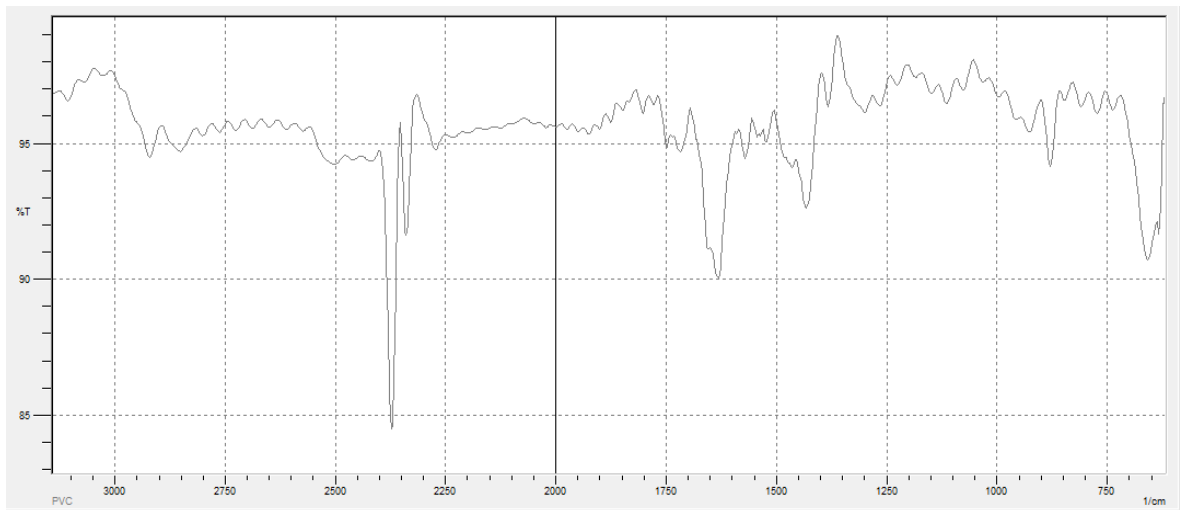
**Diagrama 1.** Procedimiento para caracterización de PVC, análisis FTIR.



**Fuente:** NANOCENTER. Manual FTIR. [Consultado el día 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.nanocenter.umd.edu/equipment/nanoopticslab/manuals/optics-03/private/IRPrestige21%20Users%20System%20Guide.pdf>

**2.2.1.2 Ejecución del método de caracterización de PVC.** La espectroscopia infrarroja basa su funcionamiento en el uso de un haz de luz infrarroja que se dirige hacia el material a analizar, en este caso PVC, provocando vibraciones que son la manifestación de la energía absorbida por las moléculas que genera que los enlaces entre átomos se estiren; esta manifestación permite tener información de la estructura de dicho material. El espectro arrojado por el programa se muestra en la **Gráfica 1**.

**Gráfica 1.** Espectro PVC proveniente del banner



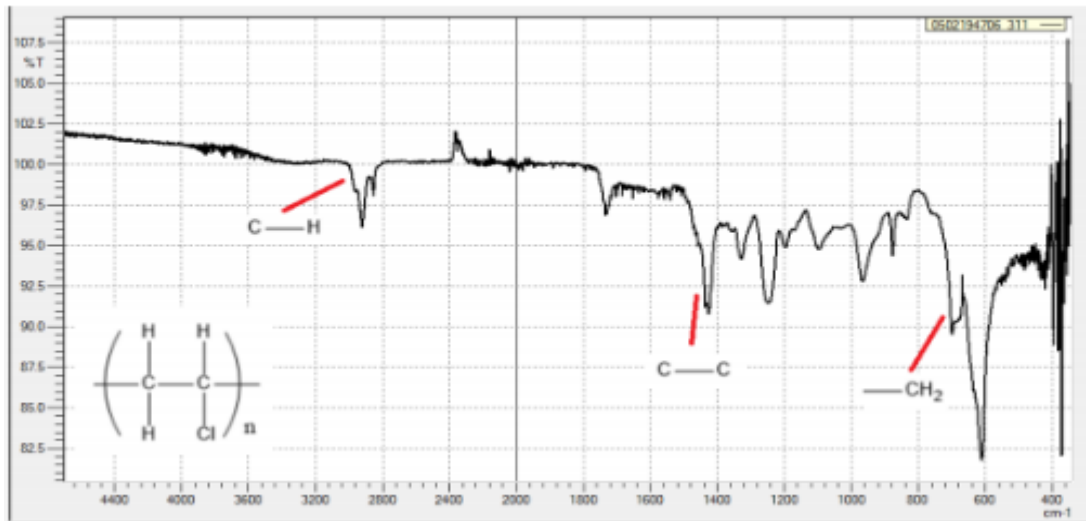
**Fuente:** elaboración propia.

**2.2.1.3 Resultados de la caracterización de PVC.** Para realizar la lectura del FTIR se tiene en cuenta que las vibraciones son características para cada grupo funcional y que se presentan como bandas en el espectro, comparando de esta manera un espectro realizado anteriormente por la universidad EAN<sup>32</sup> mostrado en la **Figura 1** con el espectro obtenido en el laboratorio.

---

<sup>32</sup> VELANDIA, Javier. Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja. En : revista ONTARE- Facultad de ingeniería de la Universidad Escuela de administración de negocios. Octubre, 2017, pág. 115-140

**Figura 1.** Espectro de PVC universidad EAN.



**Fuente:** VELANDIA, Javier. Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja. En: revista ONTARE-Facultad de ingeniería de la Universidad Escuela de administración de negocios. Octubre, 2017, pág. 115-140

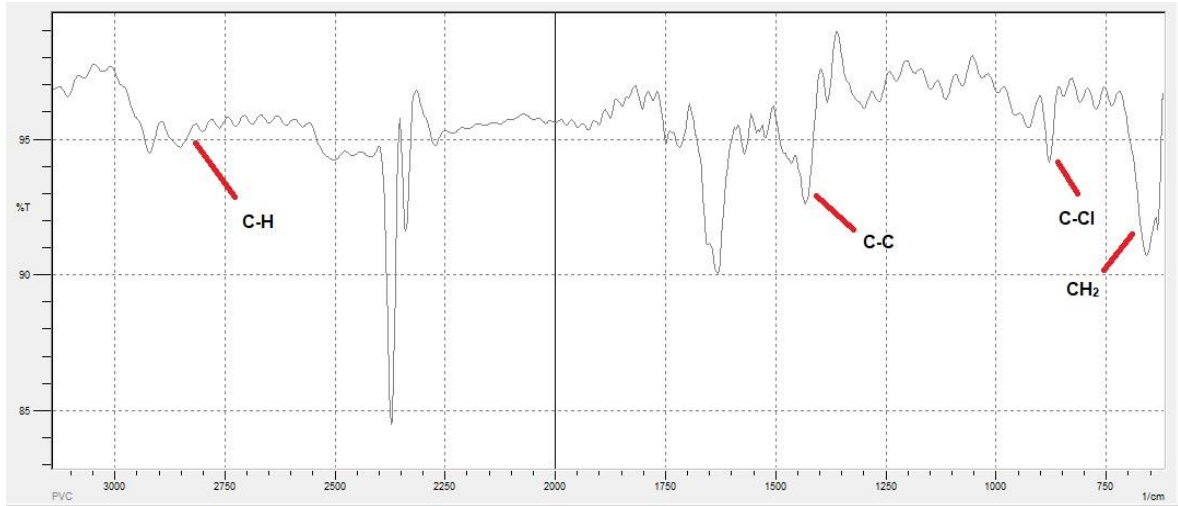
El PVC se caracteriza por la presencia de cloro, cuyas bandas se observan entre los números de onda de 834-900 cm<sup>-1</sup> a un porcentaje de transmitancia superior al 96%. Igualmente se observa una deformación del enlace C-H entre los números 2800-2960 cm<sup>-1</sup>, el enlace C-C a 1440 cm<sup>-1</sup> y finalmente el pico de flexión del enlace CH<sub>2</sub> entre 760-850 cm<sup>-1</sup>.<sup>33</sup>

En la **Tabla 1** se muestran tabulados los resultados tanto para el espectro de la universidad EAN como para el PVC extraído del banner y el grupo funcional al que pertenece el valor de número de onda. En la **Gráfica 2** se señalan los grupos funcionales encontrados<sup>34</sup>.

<sup>33</sup> RAMESH. S. FTIR studies of PVC/PMMA blen based polymer electrolytes. EN: SPECTROCHIMICA 2007

<sup>34</sup> MARIANA. A POLYVINYLCHLORIDE (PVC) and natural rubber films plasticized with a natural polymeric plasticizer obtained through polyesterification of rice fatty acid. 2011

**Gráfica 2.** Lectura grupos funcionales de espectro PVC proveniente del banner.



**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 1.** Número de onda de grupos funcionales presentes en el PVC.

Grupo funcional	Rangos PVC Univ. EAN (cm <sup>-1</sup> )	PVC proveniente del banner (cm <sup>-1</sup> )
C-H	2800-2960	2830
C-C	1440	1440
CH <sub>2</sub>	760-850	700
C-Cl	834-900	836

**Fuente:** elaboración propia.

**2.2.2 Tipo de PVC.** En la literatura se encontró que existen cuatro tipos diferentes de PVC, estos corresponden a PVC rígido, PVC glass, PVC espumado y PVC flexible<sup>35</sup>. Se puede diferenciar el tipo de PVC por su estructura molecular (cristalina o amorfa)<sup>36</sup>, establecida realizando el análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC), pero dicho análisis presenta una serie de restricciones en las cuales se estipula que las muestras a tratar no deben ser corrosivas, de material orgánico o contener elementos como F, Cl, Br o I<sup>37</sup>, como es el caso del PVC que presenta en su estructura el elemento Cl y con el cual no es conveniente realizar este tipo de análisis, además éste se efectúa elevando la temperatura por encima de la Tg del polímero causando su descomposición y generando gases tóxicos, por lo que se

<sup>35</sup> LORKINDUSTRIAS. PVC flexible [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.lorkindustrias.com/pvcflexible.html>

<sup>36</sup> TEXTOSCIENTIFICOS. Estructura de polímeros [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/estructura>,

<sup>37</sup> ANDERSONMATERIALES. Restricción FTIR [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.andersonmaterials.com/dsc.html>



opta por hacer un paralelo entre las características presentadas en la **Tabla 2** para cada tipo de PVC y las del banner, evaluando cada una como se describe en el **Diagrama 2**, verificando si cumple los requerimientos especificados para cada tipo de PVC.

**Tabla 2.** Características del PVC rígido, PVC glass, PVC espumado y PVC flexible.

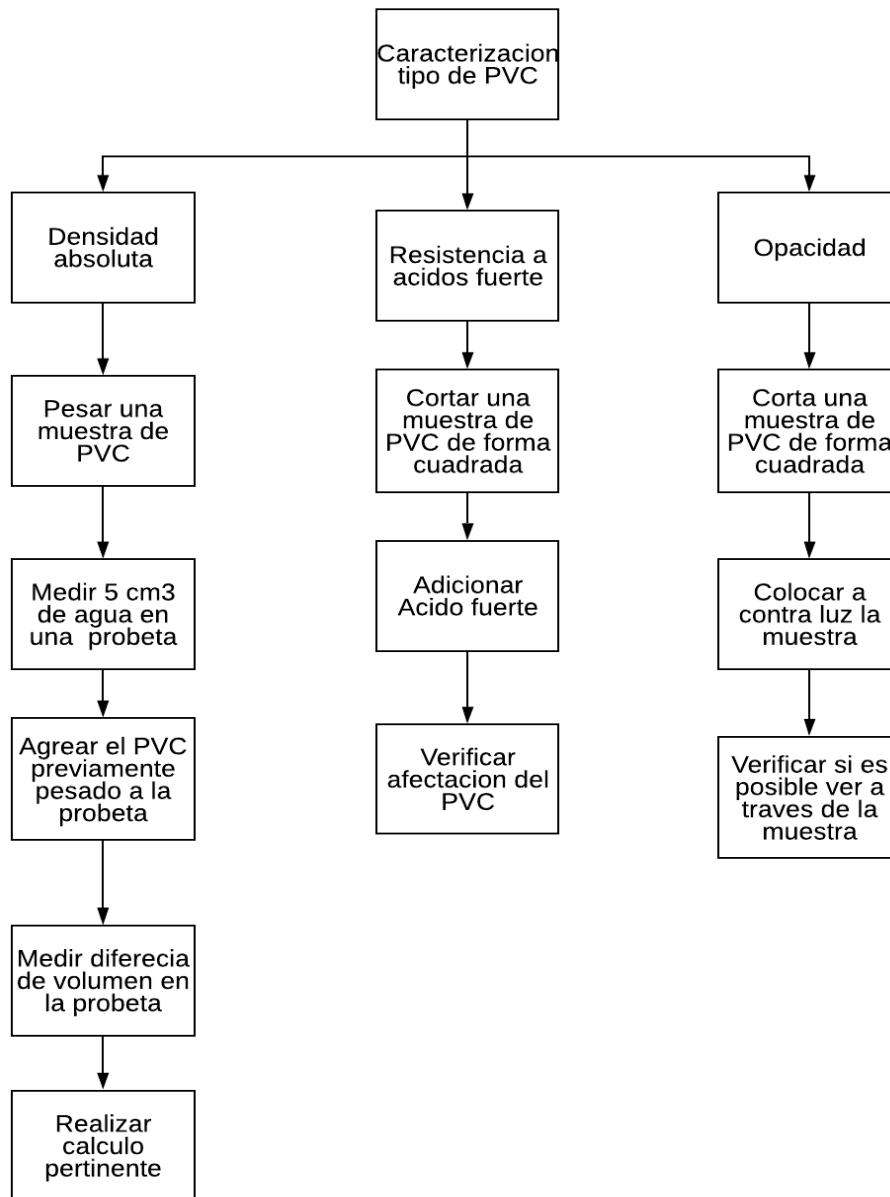
Característica	PVC			
	Rígido	Glass	Espumado	Flexible
Densidad absoluta (gr /cm <sup>3</sup> )	1,42	1,42	0,55-0,77	1,19
Resistencia a Ácidos fuertes	SI	SI	SI	NO
Opacidad	SI	NO	SI	SI

**Fuente:** LORK INDUSTRIAS. PVC flexible. [Consultado el día 2 de junio 2019]. Disponible en: <http://www.lorkindustrias.com/pvcflexible.html#>

**2.2.2.1 Metodología de caracterización del tipo de PVC.** Los datos suministrados en la Tabla 2 permiten diferenciar el tipo de PVC presente en el banner mediante la resistencia del mismo ante la exposición a ácidos fuertes, la opacidad y el cálculo de la densidad absoluta en unidades de gramos (g) sobre centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>). El procedimiento para esta diferenciación se ejemplifica en el **Diagrama 2**.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> ESTUDIO Y ENSAYO. Densidad, resistencia [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/pvc.pdf>,

**Diagrama 2.** Procedimiento para caracterización del tipo de PVC evaluando densidad, resistencia a ácidos fuerte y opacidad.

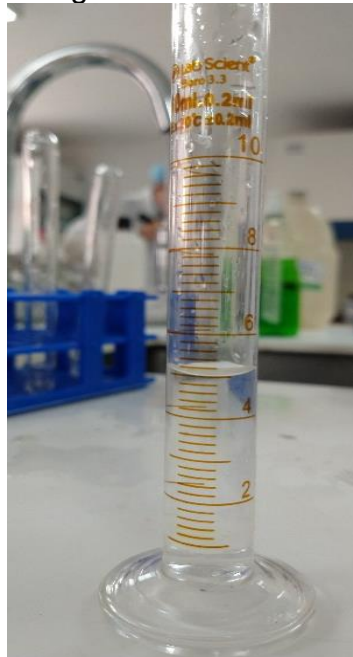


**Fuente:** SC EHU. Fluidos y estática. [Consultado el día 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/aerometro/aerometro.htm>;  
 EAFIT. Ácidos fuertes. [Consultado el día 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1408/1280/>

**2.2.2.2 Ejecución de los métodos de caracterización del tipo de PVC.** La caracterización del tipo de PVC se realizó en PVC proveniente de banner tipo brillante y banner tipo mate de 13 onzas teniendo en cuenta el **Diagrama 2**; éste se llevó a cabo de la siguiente manera. De igual forma se realizó una réplica de dicho ensayo para verificar resultados

**A. Densidad absoluta.** Se tomaron dos muestras de PVC proveniente de banner tipo brillante y banner tipo mate. Para el primer ensayo se pesaron 0,2431g y 0,2014g respectivamente. Para la réplica se pesaron 0.2612 g y 0.2135 g se adicionaron a las probetas aforadas previamente a 5 cm<sup>3</sup> con agua y se procedió a medir las diferencias de los volúmenes como se muestran en la **Imagen 7**, **Imagen 8** ; estas diferencias fueron de aproximadamente 5,21 cm<sup>3</sup> y 5,17 cm<sup>3</sup> para el primer ensayo y de 5,23 cm<sup>3</sup> y 5,18 cm<sup>3</sup> como se muestra en la **Imagen 9** .Se obtuvieron los siguientes valores de densidad donde la **Ecuación 1** muestra la fórmula para el cálculo de la densidad.<sup>39</sup>

**Imagen 7.** Volumen inicial de agua 5 cm<sup>3</sup>



**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de la densidad, teniendo en cuenta que el fluido empleado es agua y su densidad es de 1g/cm<sup>3</sup>.

---

<sup>39</sup> SBWEB. Física y fluidos [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/aerometro/aerometro.htm>

### Ecuación 1. Ecuación cálculo de densidad absoluta

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

Donde:

$\rho$ : densidad absoluta.

$m$ : cantidad de masa de la muestra

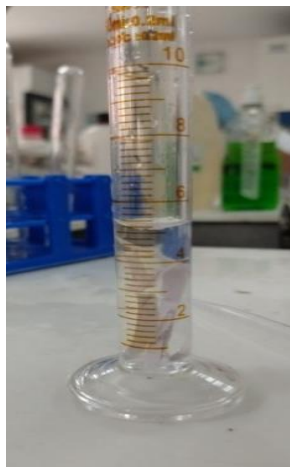
$V$ : Volumen de la muestra

**Fuente:** SC.EHU. [Consultado el 25-03-2019]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/aerometro/aerometro.htm>

- **Densidad PVC banner tipo brillante y tipo mate.** El volumen desplazado por ambos tipos de banner en el primer ensayo corresponde a la diferencia entre la **Imagen 7** y la **Imagen 8**, en la **Imagen 9** se muestra el volumen desplazado por el peso del banner al realizar la réplica; debido a que los desplazamientos son mínimos y que las probetas graduadas tiene una escala de dos centímetros cúbicos por línea, los valores obtenidos al emplear la **Ecuación 1** será una aproximación de los mismos; los valores de densidad corresponden a el primer ensayos son  $1.16 \text{ g/ cm}^3$  y a  $1.18 \text{ g/ cm}^3$  respectivamente, los valores de densidad para la réplica son  $1.154 \text{ g/ cm}^3$  y a  $1.1802 \text{ g/ cm}^3$

$$\rho_{brillante} = \frac{0,2431 \text{ gr}}{0,21 \text{ cm}^3} \cong 1,16 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

**Imagen 8.** Volumen final para PVC de banner tipo brillante, primer ensayo



**Fuente:** elaboración propia.

Se realiza una comparación entre las dos densidades, la del banner tipo brillante y banner tipo mate y se evidencia que no existe un cambio apreciable entre las mismas. Al comparar con la réplica se muestra que los valores de densidad son similares a los del primer ensayo; tanto gráfica como numéricamente sus densidades son iguales.

**Imagen 9.** Volumen final para PVC de banner tipo brillante, replica

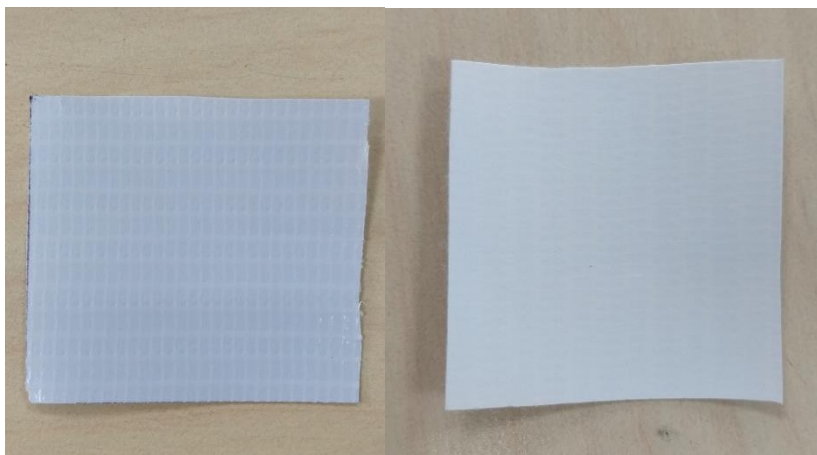


**Fuente:** elaboración propia.

**B. Resistencia a ácido fuerte.** Las muestras de PVC provenientes de banner tipo brillante y banner tipo mate se evaluaron con ácido clorhídrico HCl, teniendo en cuenta impregnar de dicho ácido solo la mitad la muestra a tratar, posteriormente se realizó este mismo procedimiento para la réplica, esto con el fin de poder evidenciar el cambio que presentaba; transcurridos 2 minutos se observa un leve cambio por lo que se opta dejarlo expuesto al ácido fuerte por más tiempo obteniendo 30 minutos después un cambio representativo en su coloración y generando como resultado la afectación del PVC como se evidencia en la **Imagen 11** e **Imagen 12**.<sup>40</sup> En la **imagen 10** se muestra el banner tipo brillante y banner tipo mate antes de ser tratados con ácido fuerte para el primer ensayo y el banner tipo brillante y banner tipo mate para la réplica, presentando ambos una tonalidad blanca. MAR

<sup>40</sup> MEHDI S. GHOLAM R. Recycling of PVC waste. EN:POLYMER DEGRADATION AND STABILITY. 2010

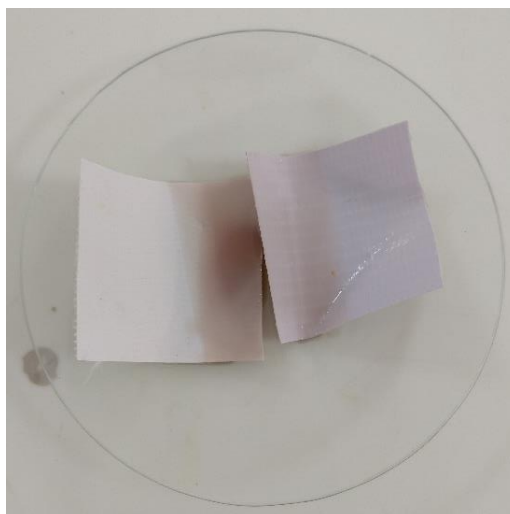
**Imagen 10.** PVC banner tipo brillante y tipo mate antes del tratamiento con ácido fuerte.



**Fuente:** elaboración propia.

Una vez son sometidas las muestras de banner tipo brillante y de banner tipo mate al tratamiento con ácido fuerte se logra tanto en el primer ensayo como en la réplica evidenciar un cambio como se muestra en la **Imagen 11** y en la **Imagen 12** un cambio al transcurrir 30 minutos, tiempo en el que se logró observar un mayor cambio en la tonalidad de los banners. Con la réplica se logró verificar que si existe una afectación del banner a ácidos fuertes

**Imagen 11.** PVC banner tipo brillante y tipo mate primer cambio a la afectación por ácido fuerte



**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen 12.** PVC presente en el banner tipo mate y banner tipo brillante al transcurrir 30 minutos en exposición a él ácido fuerte.



**Fuente:** elaboración propia.

Después de someter ambos tipos de banner a la exposición con ácido fuerte se comprueba que no son resistentes a ácidos fuertes, esto debido al cambio en la tonalidad siendo esta una señal de degradación química.<sup>41</sup>

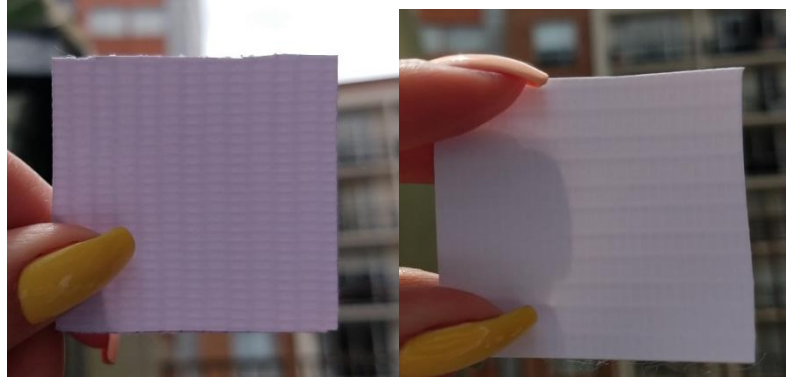
**C. Opacidad.** Ambas muestras de PVC provenientes de banner tipo brillante y banner tipo mate son colocadas contraluz y se observa si se presenta opacidad, esto es mostrado en la **Imagen 13**.

En la **Imagen 13** lado izquierdo se muestra el banner tipo brillante sometido a contraluz y se logra observar que no es posible ver a través de él. De igual forma en el lado derecho de dicha imagen se presenta el banner tipo mate sometido a contraluz el cual tampoco permite ver a través de él, generando así ambos tipos de banner una respuesta positiva a opacidad en el material.

---

<sup>41</sup>SBWEB. Fisca y fluidos [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1408/1280/>

**Imagen 13.** PVC banner tipo brillante contraluz



**Fuente:** elaboración propia.

**2.2.2.3 Resultados de los métodos de caracterización.** Una vez realizada la caracterización se obtuvo que el PVC proveniente del banner tipo brillante y banner tipo mate poseen las características propias de PVC flexible como lo son densidad cercana a  $1.19 \text{ g/cm}^3$ , opacidad y la no resistencia a ácidos fuertes como el ácido sulfúrico; estos datos se encuentran registrados en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Características del PVC proveniente de banner tipo brillante y banner tipo mate

Característica	PVC	
	Banner tipo brillante	Banner tipo mate
	Flexible	Flexible
Densidad absoluta ( $\text{g/cm}^3$ )	1,15	1,19
Resistencia a Ácidos fuertes	NO	NO
Opacidad	SI	SI

**Fuente:** elaboración propia.

### 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE POLIÉSTER

Existen actualmente varios tipos de poliéster clasificados como poliéster de tipo insaturado o como alquil poliéster, cada uno con una aplicación diferente según sus características. Para tener certeza del tipo de poliéster que se encuentra en el



banner fue necesario realizar un análisis que arrojara las características químicas presentadas por el mismo.

**2.3.1 Metodología de caracterización del tipo de poliéster.** Para deducir el tipo de poliéster que se tiene en el banner, se llevaron las fibras del mismo a ser analizadas a la maquina IRPrestige-21 programada para realizar el análisis FTIR donde, como resultado de la transmitancia medida, se pudieron obtener los grupos funcionales que presenta el polímero<sup>42</sup>.

**2.3.2 Ejecución de los métodos de caracterización de poliéster.** El proceso previo a la caracterización empleando el análisis FTIR conllevó a la separación manual de las fibras de poliéster del banner de donde se obtuvo una muestra de poliéster como se evidencia en la **Imagen 14**; dicha muestra se macero con 613mg de KBr para obtener una mezcla homogénea que posteriormente fue colocada en una cápsula de aluminio y prensada para ser examinada por análisis FTIR.

**Imagen 14.** Fibra de poliéster proveniente del banner



**Fuente:** elaboración propia.

**2.3.3 Resultados de los métodos de caracterización.** Para establecer el tipo de poliéster que presentaba la muestra de banner se observó la relación existente entre los espectros de Tereftalato de polietileno, PET encontrado en la literatura<sup>43</sup> y mostrado en la **Figura 2** y el poliéster proveniente del banner.

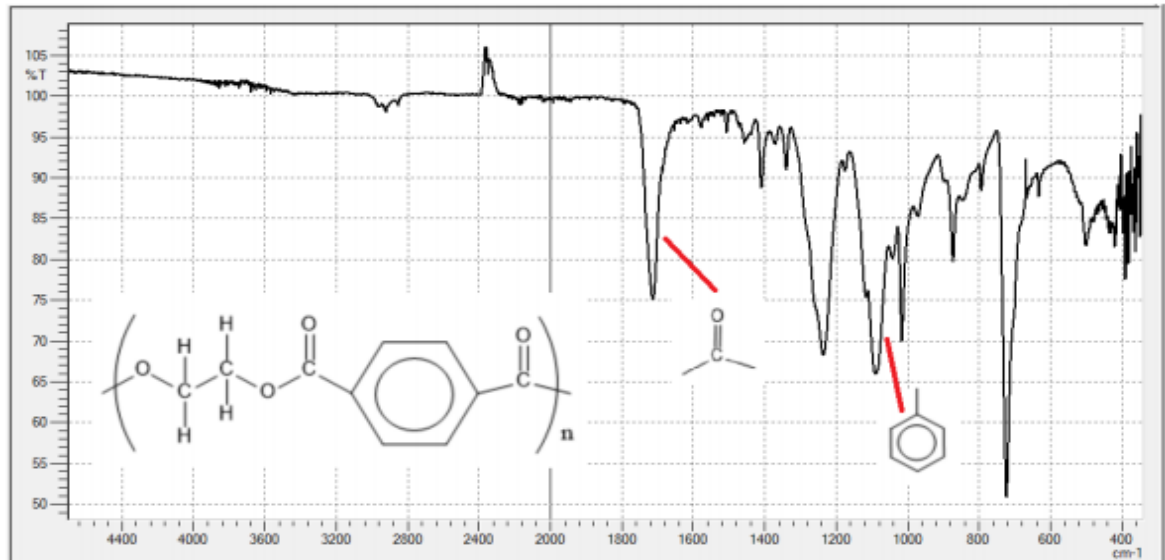
Se leyeron los números de onda que el PET suministraba en sus picos más prominentes y los más representativos del espectro obtenido en el laboratorio mostrados en la **Gráfica 3** donde se ilustra el grupo funcional y su respectivo número de onda, los resultados de ambas lecturas son expuestos en la **Tabla 4**.

<sup>42</sup> HANDBOOK OF POLYMER COATINGS FOR ELECTRONICS - CHEMISTRY, TECHNOLOGY AND APPLICATIONS. Polyester. Licari, J.J. Hughes, L.A. (1990).

<sup>43</sup> UNIVERSIDAD EAN. Espectro PET [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/download/2005/1776/>

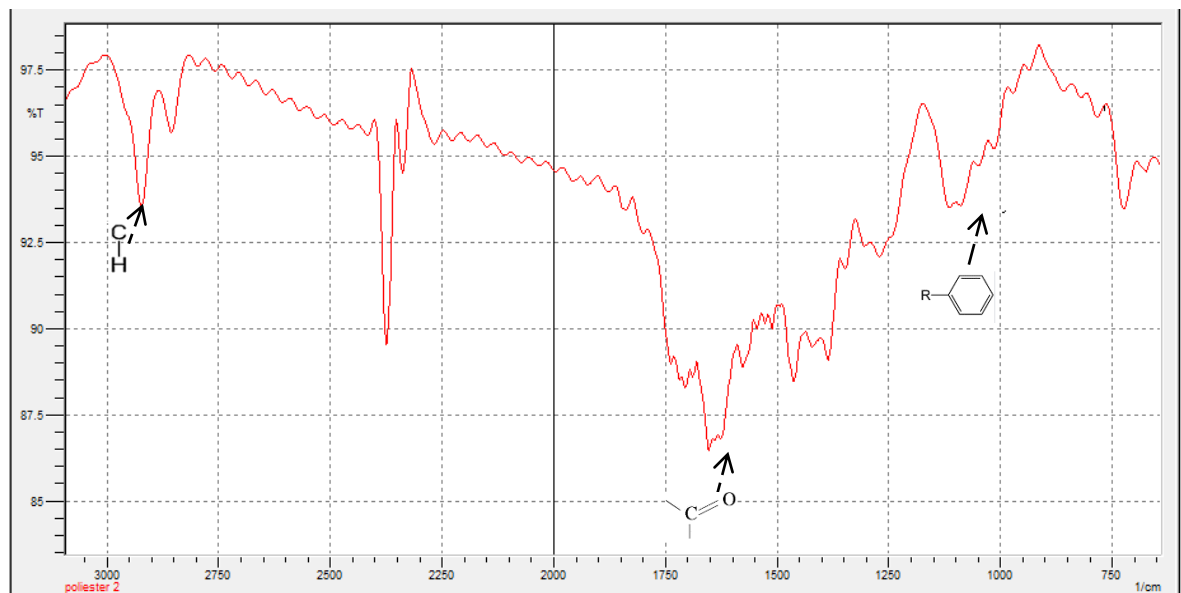
Estos valores permitieron corroborar que el poliéster presente en el banner corresponde a poliéster tipo PET

**Figura 2.** Grupos funcionales presentes en el espectro de PET



**Fuente:** VELANDIA, Javier. Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja. En : revista ONTARE-Facultad de ingeniería de la Universidad Escuela de administración de negocios. Octubre, 2017, pág. 115-140

**Gráfica 3.** Lectura grupos funcionales presentes en el poliéster proveniente del banner.



**Fuente:** elaboración propia.

Los números de onda obtenidos corresponden a enlaces C=O para valores entre 1700 y 1711, el anillo aromático es obtenido en valores entre 1000 y 1100 e igualmente el grupo funcional C-H se encuentra en valores de 2800 y 2900 como se muestran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Numero de onda de grupos funcionales presentes en fibra de poliéster y poliéster tipo PET

Grupo funcional	Rangos de poliéster tipo PET (cm <sup>-1</sup> )	Poliéster proveniente del banner (cm <sup>-1</sup> )
C=O	1700-1711	1650
C-H	1000-1100	1090
Anillo aromático	2800-2900	2880

**Fuente:** VELANDIA, Javier. Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja. En : revista ONTARE-Facultad de ingeniería de la Universidad Escuela de administración de negocios. Octubre, 2017, pág. 115-140

## 2.4 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE TINTA

Las tintas empleadas en el proceso de impresión del banner son de tipo base solvente y eco-solvente; actualmente la más empleada es la de tipo eco- solvente por la tendencia de buscar materiales afables con el medio ambiente, estas tintas presentan baja volatilidad y toxicidad, además se caracterizan por tener secado rápido y buena adherencia a la película de banner.<sup>44</sup>

En el mercado se pueden resaltar dos marcas de tintas empleadas actualmente en Colombia que llevan por nombre GALAXY DX5-ECO<sup>45</sup> y NUtec DIGITAL INK <sup>46</sup>; los componentes principales y comunes de estas son carbono negro (según color), resina de acrilato, dietileno glicol etil metil éter, 2-etoxi etil éter y etilenglicol monobutil éter acetato. Para hacer verídica la información presentada se realiza un análisis FTIR para buscar los grupos funcionales de las moléculas, siguiendo el proceso mostrado desde un inicio en el **Diagrama 1** en el cual se especifica que uno de los pasos es prensar la mezcla de la muestra y el KBr, dando como resultado una pastilla como la mostrada en la **Imagen 15**.

<sup>44</sup> CHEMISTRY OF INKJET INKS, Op.cit., P. 30

<sup>45</sup> SIGNSUPPLY. Tinta eco-solvente [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://sitio.signsupply.com.co/english/wp-content/uploads/2015/02/DX5-ECO.pdf>

<sup>46</sup> SIGNTRADE. Tinta T51 [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [http://signtrade.ch/images/msds/spanish/msds\\_Topaz\\_T51\\_ES.pdf](http://signtrade.ch/images/msds/spanish/msds_Topaz_T51_ES.pdf)

**Imagen 15.** Pastilla de la mezcla de KBr y tinta prensada.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.4.1 Metodología de caracterización de la tinta.** Para evaluar la tinta presente en el banner se retiró previamente la misma usando acetona y 2-etoxietanol en dos diferentes ensayos como se describen en el **Diagrama 3** y en los párrafos subsecuentes, cuyos datos fueron extraídos de las patentes EP2987822 y US5634405A, cuyo fin era el de retirar una pequeña cantidad de tinta óptima para el análisis FTIR sin que se degradara el banner.

La remoción con acetona ( $C_3H_6O$ ) fue propuesta en la patente EP2987822<sup>47</sup>, donde se presentaba el método para la recuperación de polímero impreso PETG (Polietilentereftalato de glicol) y en ésta se especificaba que se le debía realizar un pretratamiento al polímero con el fin de remover la totalidad de la tinta impresa, sea esta aplicada con cualquier método de impresión como la impresión flexográfica o impresión a chorro de tinta en cualquier composición. La aplicación es recomendada para sustratos poliméricos impresos recortados con forma de lámina de menos de 5cm de ancho dado que es favorable por la formación de espacios vacíos.

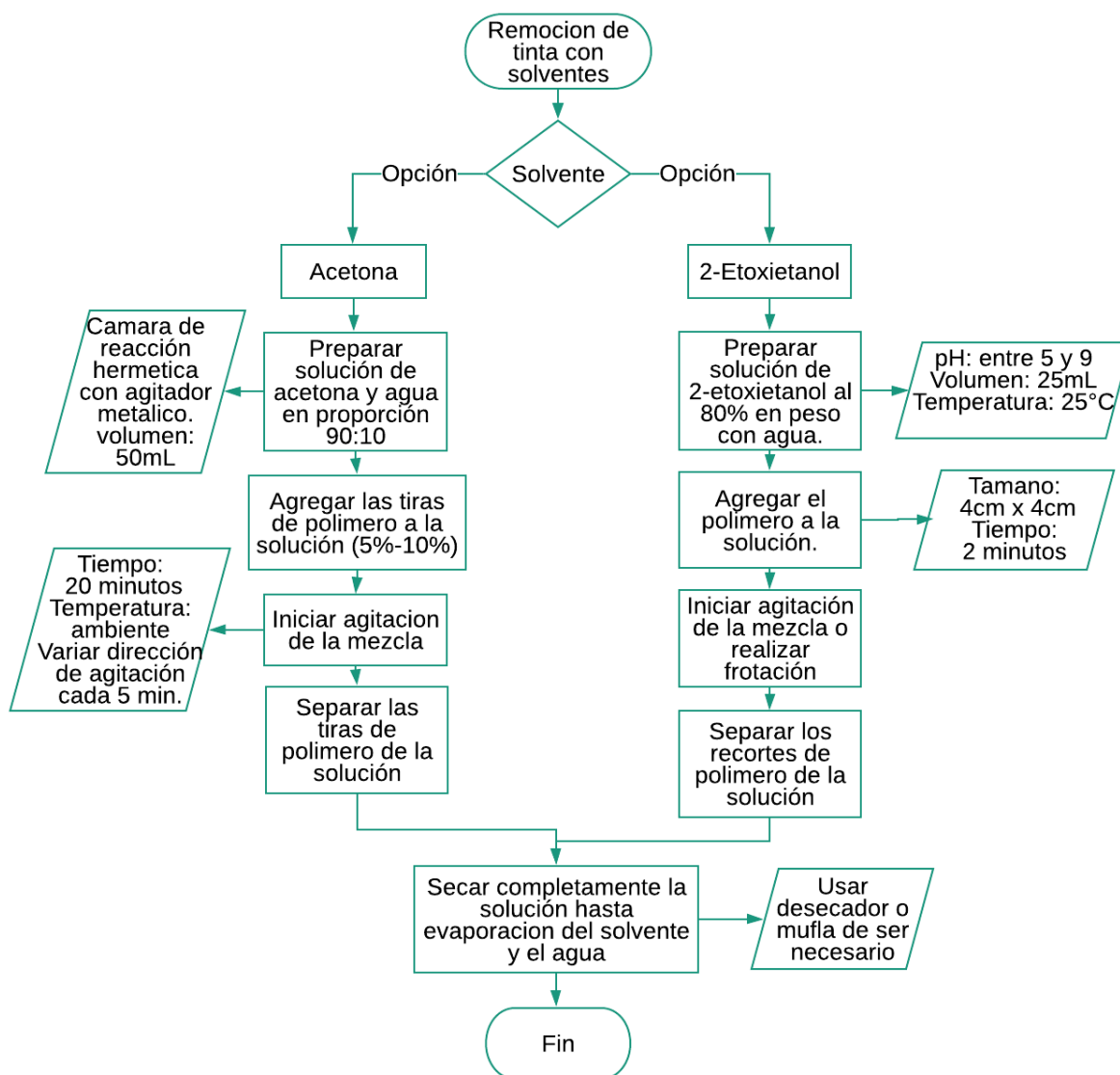
El Segundo solvente fue seleccionado de la patente US5634405A<sup>48</sup>, donde se detallaba el método para eliminación de tinta de sustratos de polímero, enfocada a polímeros sintéticos o a polímeros reciclados que estén total o parcialmente recubiertos de tinta. Para la respectiva remoción utilizaron una solución acuosa con un éter de glicol, específicamente el 2-etoxietanol o cellosolve ( $C_4H_{10}O_2$ ) que es capaz de remover las tintas sin afectar el polímero, contando con una volatilidad

<sup>47</sup> EUROPEAN PATENT SPECIFICATION. A method for recovering polymer from printed PETG substrates. Inventor Piesowicz, elzbieta, EP 2 987 822 B1, 23 de agosto del 2014 [Consultado el 25 de marzo de 2019] Disponible en: <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20180606/patents/EP2755987NWB1/document.pdf>

<sup>48</sup> UNITED STATES PATENT. METHODS FOR REMOVING INK FROM POLYMERIC SUBSTRATES. Inventor Ajit K. 5,634,405, 3 de junio del 1997 [Consultado el 25 de marzo 2019] Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/26/de/7e/a7dfcfc41f26f/US5634405.pdf>

suficiente como para ser removible del sustrato, pero no tan alta como para representar un peligro a la seguridad. La cantidad de polímero no afecta la remoción de la tinta y puede ser agregado completo o recortado al igual que ejercer o no frotación dado que la patente lo especifica.

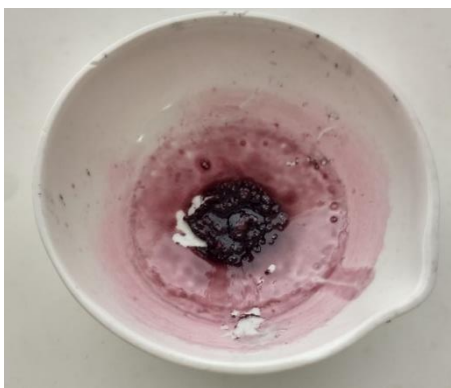
**Diagrama 3.** Proceso de extracción de tinta con solventes.



**Fuentes:** EUROPEAN PATENT SPECIFICATION. A method for recovering polymer from printed PETG substrates. Inventor Piesowicz, elzbieta, EP 2 987 822 B1, 23 de agosto del 2014 [Consultado el 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20180606/patents/EP2755987NWB1/document.pdf>;  
 UNITED STATES PATENT. METHODS FOR REMOVING INK FROMA POLYMERIC SUBSTRATES. Inventor Ajit K. 5,634,405, 3 de junio del 1997 [Consultado el 25 de marzo 2019]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/26/de/7e/a7dfcfc41f26f/US5634405.pdf>

**2.4.2 Ejecución del método de caracterización.** Se realizó el análisis FTIR para cada una de las muestras de tinta obtenidas con cada tipo de solvente, muestras que se encontraban secas al momento del análisis. El secado de las mismas se realizó calentando la solución obtenida hasta la evaporación parcial de los solventes como se observa en la **Imagen 16** para la acetona y en la **Imagen 17** para el 2-etoxietanol, que fueron evaporados con el fin de obtener una pasta sólida que se sometería a un secado total en el desecador de vidrio con tapa de bola durante dos días. Lista de g

**Imagen 16.** Muestra de tinta obtenida con acetona hasta evaporación parcial de solvente.



**Fuente:** elaboración propia.

En la imagen anterior se ve como las trazas de tinta extraída con el solvente, en este caso acetona, se acumula en el fondo de la capsula y a su vez se fija a las paredes de la misma dando un tono morado al solvente no evaporado.

**Imagen 17.** Muestra de tinta obtenida con 2-etoxietanol hasta evaporación parcial de solvente.

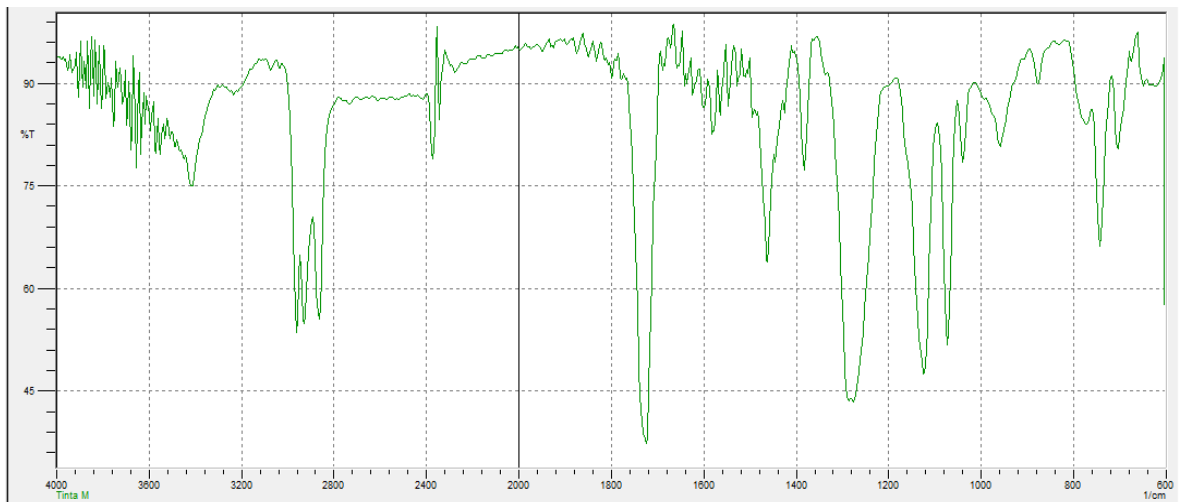


**Fuente:** elaboración propia.

En la tinta extraída con 2-etoxietanol se ve como la tinta se adhieren a las paredes de la capsula de porcelana y su vez da un tomo entre verde y amarillo al solvente que aún no se evapora: igualmente se observa que la cantidad de tinta extraída es menor que la retirada con acetona.

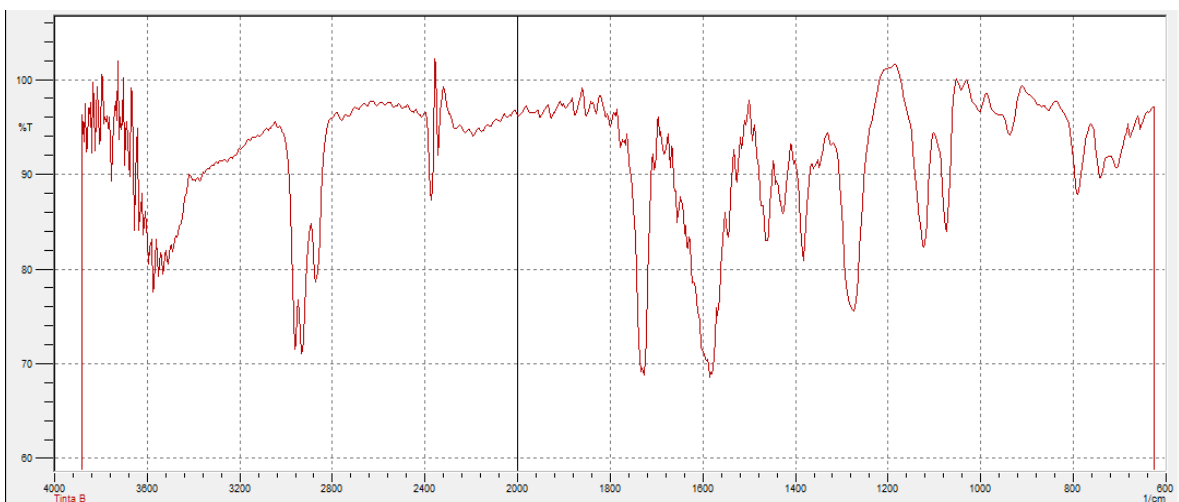
El análisis FTIR arrojó dos gráficas, una para cada tipo de solvente en unidades de frecuencia luminosa absorbida o número de onda por radiación transmitida o transmitancia, estas corresponden a la **Gráfica 4** para acetona y a la **Gráfica 5** para el 2-etoxietanol.

**Gráfica 4.** Espectro generado por la tinta extraída con acetona.



Fuente. Elaboración propia.

**Gráfica 5.** Espectro generado por la tinta extraída con 2-etoxietanol.



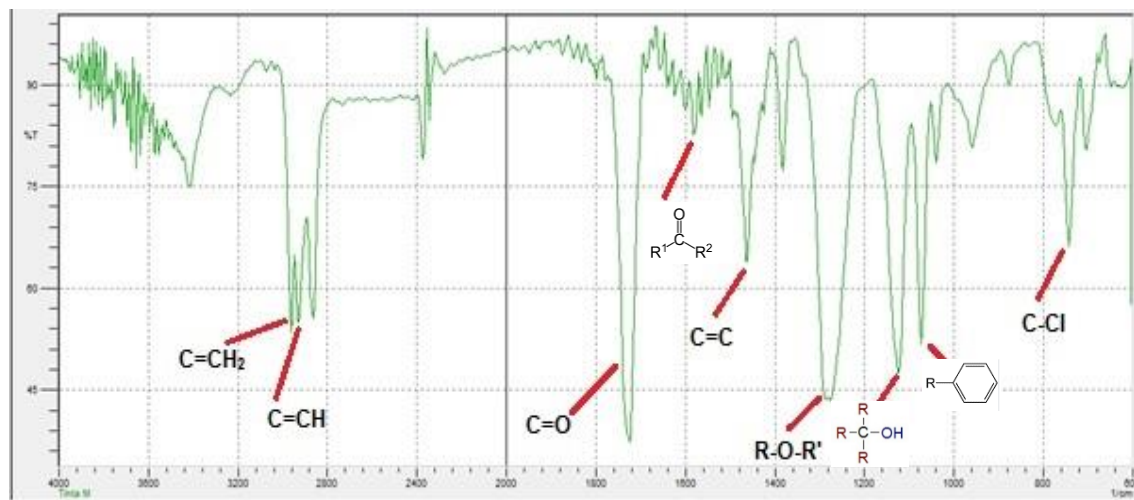
Fuente. Elaboración propia.

Se observa en las gráficas que los picos son similares a determinados números de onda y solo varia su longitud o transmitancia como es el caso de los picos encontrados a  $1260\text{ cm}^{-1}$  y a  $1720\text{ cm}^{-1}$ ; la similitud de estos picos se esperaba puesto que entre ambos tipos de tinta se tienen las mismas sustancias y por ende los mismos grupos funcionales.

**2.4.3 Resultados del método de caracterización.** Los resultados dados por el programa LabSolutions IR software de análisis de datos de la empresa shimadzu son mostrados en gráficos de porcentaje de transmitancia del 0 al 100%, donde este último se refiere a materiales que dejan transmitir toda la luz o radiación a través de la muestra, es decir que no absorben energía, contra número de onda en unidades de  $\text{cm}^{-1}$  que es proporcional a la frecuencia.

- **Acetona.** Los resultados arrojados por el análisis se presentan en la **Gráfica 6**, cuyos picos muestran los grupos funcionales C=O (saturados), Alcohol terciario, enlace C=Ch<sub>2</sub>, enlace C=Ch, Ester (aromáticos y vinílicos), entre otros<sup>49</sup>. Estos grupos funcionales pertenecen a los compuestos mencionados inicialmente como compuestos primarios de la tinta comercial, un recuento de estos es mostrado en la **Tabla 5**, además cabe resaltar la presencia de PVC en la muestra en forma de cloro alcanos.

**Gráfica 6.** Espectro generado por la tinta extraída con acetona.



**Fuente:** elaboración propia.

<sup>49</sup> DEPA.FQUIM. Composición tinta [en línea]. [consultado el 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tabla\\_de\\_IR\\_20785.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tabla_de_IR_20785.pdf).



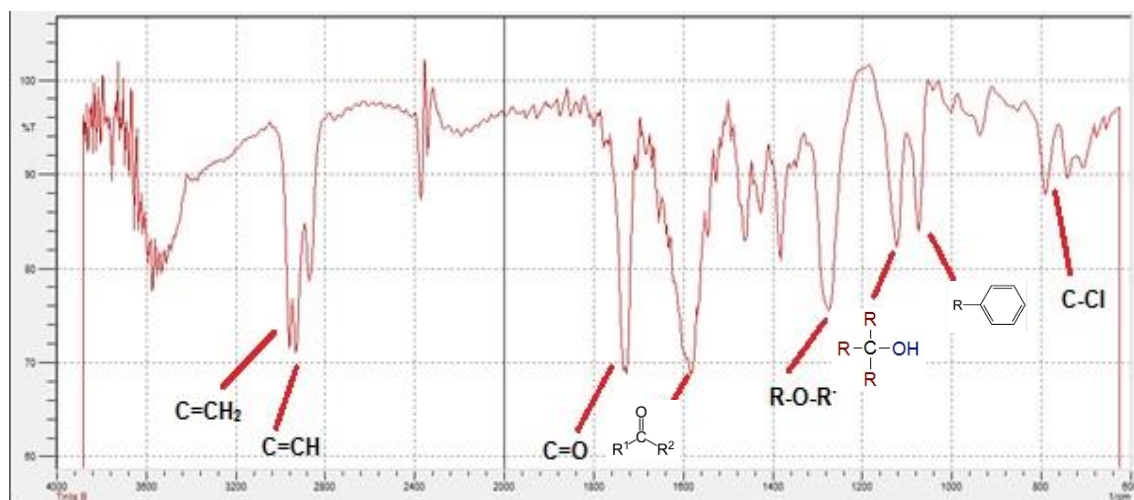
**Tabla 5.** Grupos funcionales tinta removida con acetona

Grupo funcional	Numero de onda (cm <sup>-1</sup> )
Cloro alcanos	760
Anillo aromático	1040 – 1180
Alcohol terciario	1190-1200
Éter (aromático y vinílico)	1200-1285
C=C (aromático)	1450
Grupo cetona	1580-1600
C=O (saturado)	1700-1740
C=CH	2800-2880
C=CH <sub>2</sub>	2880-2915

**Fuente:** elaboración propia.

- **2-etoxietanol.** Al igual que para el solvente anterior, la gráfica arroja picos en valores de numero de onda que permiten establecer los grupos funcionales de la muestra analizada, dicho resultado es mostrado en el **Gráfico 7**. Los grupos funcionales encontrados en esta tinta son similares a los destacados en la muestra extraída con acetona listados anteriormente en la **Tabla 21** y solo se efectúa un cambio en el aumento en la percepción del grupo cetona.

**Gráfica 7.** Espectro generado por la tinta extraída con 2-etoxietanol.



**Fuente:** elaboración propia.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES BASE

Para la caracterización física del material base se evalúan las propiedades de resistencia a la rotura, resistencia al desgarro y peso de fabricación, se emplean en los banners nuevos 13 onzas que son suministrados por las empresas ADH y Sky Colors y posteriormente en los banners reciclados teniendo en cuenta las normas

DIN<sup>50</sup> que rigen cada ensayo, especificadas en las fichas técnicas proporcionadas por cada empresa, normas que ellos emplean al momento de realizar su caracterización como se muestra en la **Tabla 6** en donde se presenta su equivalente en norma ISO <sup>51</sup>

**Tabla 6.** Normas de estandarización.

Muestra	Característica	Normas	
		DIN	ISO
ADH, SkyColors	Peso de fabricación	53352	3801: 1997
	Resistencia a la rotura	53354	13934-1: 2013
	Resistencia al desgarro	53356	13937-2: 2000

**Fuente:** Fichas técnicas Sky colors y ADH (ver anexo a y b)

**2.5.1 Métodos de caracterización física.** A continuación, se presentan los conceptos básicos sobre cada uno de los métodos para la caracterización física.

**A. Peso de fabricación.** Determinar el peso de fabricación en los materiales tejidos, su relación entre masa por longitud y su masa por unidad de área suelen presentar variaciones según el tipo de tejido por lo tanto es preciso llevar a cabo la norma ISO 3801 del 1997<sup>52</sup> en donde se especifican las condiciones, equipos empleados y el modo de operación de la norma como se muestra en el en donde se especifican las condiciones, equipos empleados y el modo de operación de la norma como se muestra en el **Anexo C**, donde se describen los 4 métodos que plantea la norma. El método A (Pieza completa, rollo, perno o corte) es empleado para pruebas de aceptación de envíos comerciales, el método B ( muestra de ancho completo) es aplicable a un corte de muestra de ancho completo o pieza completa y no es aceptable para ensayos realizados a materiales que posteriormente serán enviados, el método C (pequeñas muestras de tejidos) es empleado para ensayos en laboratorios, el método D (Telas estrechas) es diseñado para utilizarse en tejidos designados para el comercio, estos tejidos suelen ser de 12 pulgadas de ancho y son tejidos en telares multishuttle<sup>53</sup>. La condición especificada por la norma es que todas las pruebas de pesaje deben

<sup>50</sup> SISTEMAS. Normas DIN. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://sistemas.com/normas-din.php>

<sup>51</sup> ISOTOOLS. Normas ISO. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.isotools.org/normas/>.

<sup>52</sup> ISO.ORG. norma 3801 de 1997 [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/9335.html>

<sup>53</sup> TEYCSA. Norma peso de fabricación [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.teycsa.com/files/astmnorma.pdf>.

hacerse a temperatura estándar es decir  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y a una humedad relativa de  $65 \pm 2\%$ .

**B. Resistencia a la rotura.** La resistencia a la rotura hace referencia a la presión interior máxima que puede soportar un material, este consiste en ir aumentando la presión interior en el material hasta alcanzar la rotura del mismo. Cuando se introduce presión en el interior del material aparecen tensiones transversales y longitudinales, dichas tensiones van aumentando del mismo modo que aumenta la presión interior del material. La norma ISO 13934-1 del 2013<sup>54</sup> establece las condiciones óptimas para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la rotura en tejidos<sup>55</sup>. Las dimensiones requeridas son de 50 mm de ancho y una longitud entre 100mm o 200mm. Para iniciar el ensayo se debe tener en cuenta la calibración del equipo como se muestra en el **Anexo D**.

El modo de operación del ensayo es descrito en el **Anexo E**, donde se inicia sujetando la muestra de tejido entre las mandíbulas de la máquina universal de medida, se ajusta la separación entre las mandíbulas hasta que la muestra se encuentre totalmente vertical y se procede a calibrar el equipo, una vez calibrado el equipo, el mismo hace la toma de datos hasta que se genera la rotura de la muestra y se suministran dos gráficos por muestra en donde el primero relaciona la fuerza (N) y el desplazamiento (mm); el segundo relaciona la tensión ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) y deformación (%).

**C. Resistencia al desgarro.** La norma ISO<sup>45</sup> nos permite determinar la fuerza necesaria para el desgarro de un tejido recubierto por el método de rasgadura única o rasgadura constante y por el método péndulo balístico; para este caso donde se tiene un tejido recubierto con polímero se ejecutará el método de rasgadura única. El corte de la probeta se observa en la **Figura 3**, con medidas en milímetros. El diagrama de flujo para la realización de este método se muestra en el **Anexo F** y al igual que para evaluar la resistencia a la rotura, se muestra la calibración de la máquina de ensayo de tracción en el **Anexo D**.

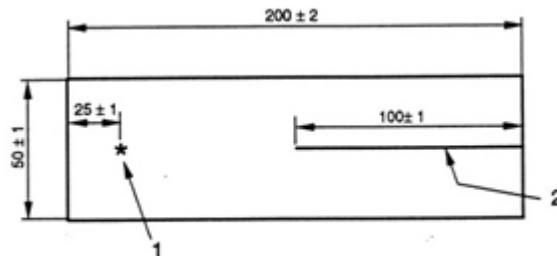
---

<sup>54</sup> ISO.ORG. norma 13934-1 del 2013[en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/60676.html>

<sup>55</sup> UPCOMMONS. Norma resistencia a rotura [en línea]. [citado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

<sup>45</sup> ISOTOOLS. Normas ISO. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.isotools.org/normas/>.

**Figura 3.** Corte de muestras para resistencia al desgarro método de rasgadura única.



**Fuente:** ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Resistencia al desgarro [Consultado el día 10 de abril 2019] Disponible en: <https://www.iso.org/standard/35179.html>

Se recomienda realizar el método a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C según la norma ISO 139:2005 que habla del acondicionamiento de textiles a atmósferas normales<sup>56</sup>. Igualmente se deberá especificar si el lado largo de las muestras se corta en paralelo a la urdimbre o a la trama para poder identificar si el resultado final es a través de la trama o a través de la urdimbre respectivamente.

**2.5.2 Ejecución de los métodos de caracterización física.** Los métodos de caracterización física se realizaron en veinte muestras, de las cuales ocho fueron para rotura, ocho para desgarro y cuatro para peso de fabricación. Para recortar las probetas según como lo exigen las normas ISO se obtuvieron muestras por cada tipo de banner, banner brillante, tipo mate, banner de color reciclado brillante y banner de color reciclado tipo mate. En los ensayos de resistencia a la rotura y resistencia al desgarro se recortaron parejas por cada tipo de banner, diferenciándose entre sí en que una fue recortada en sentido de la trama y la otra en sentido de la urdimbre.

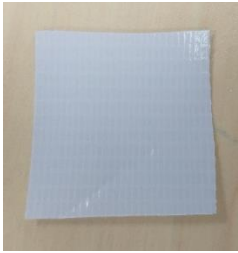
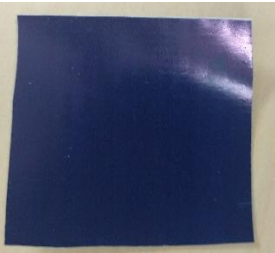

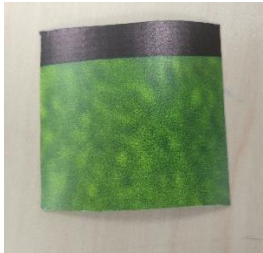
El ensayo de peso de fabricación se realizó en el laboratorio de Tecnoparque Sena y los ensayos de resistencia a la rotura y resistencia al desgarro se realizaron con la máquina universal de medida Shimadzu ags-x serie 50kn del laboratorio de física de la Universidad de América mostrada en la **Figura 2** (Ver anexo D).

**A. Peso de fabricación.** El ensayo de peso de fabricación se llevó a cabo en los laboratorios de Tecnoparque Sena en donde según la norma ISO 3801 de 1997 el método apropiado es el método C para pequeñas muestras de tejidos. Las

<sup>56</sup> ISO.ORG. Norma resistencia a desgarro [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/35179.html>

muestras recortadas de 4cm x 4cm se observan en la **Tabla 6**, estas muestras fueron pesadas en una balanza analítica y se calculó el peso de fabricación de las mismas teniendo en cuenta que el área de los banners tipo brillante y banner tipo mate presentan una medida de 100 cm de ancho mínimo estándar comercial por 100 cm de largo, por lo que se toma este mismo dato como referencia para los reciclados.<sup>57</sup>

**Tabla 6.** Banner recortado de 4 cm x 4 cm

<b>Banner tipo brillante</b>	<b>Banner reciclado tipo brillante</b>	<b>Banner tipo mate</b>	<b>Banner reciclado tipo mate</b>
			

**Fuente:** elaboración propia.

**Ecuación 2.** Cálculo del peso por unidad de área

$$Pe = \frac{m}{A}$$

Donde:

Pe: Peso de fabricación.

m: Masa de la muestra.

A: área de la muestra.

**Fuente:** TEYCSA. Norma ASTM [Consultado el 25 de marzo2019]. Disponible en: <http://www.teycsa.com/files/astmnorma.pdf>

- **Peso de fabricación banner tipo brillante.**

$$Pe = \frac{0.7047 \text{ g}}{4 \text{ cm} * 4 \text{ cm}} = \frac{0.7047 \text{ g}}{16 \text{ cm}^2} = 0.0440 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} * (10000 \text{ cm}^2) = 440.43 \text{ g}$$

- **Peso de fabricación banner tipo brillante reciclado.**

$$Pe = \frac{0.6991 \text{ g}}{4 \text{ cm} * 4 \text{ cm}} = \frac{0.6991 \text{ g}}{16 \text{ cm}^2} = 0.0436 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} * (10000 \text{ cm}^2) = 436 \text{ g}$$

- **Peso de fabricación banner tipo mate.**

<sup>57</sup> TEYCSA. Norma ASTM [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.teycsa.com/files/astmnorma.pdf>

$$Pe = \frac{0.7145 \text{ g}}{4 \text{ cm} * 4 \text{ cm}} = \frac{0.7145 \text{ g}}{16 \text{ cm}^2} = 0.0446 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} * (10000 \text{ cm}^2) = 446. \text{ g}$$

- **Peso de fabricación banner tipo brillante reciclado.**

$$Pe = \frac{0.6983 \text{ g}}{4 \text{ cm} * 4 \text{ cm}} = \frac{0.6983 \text{ g}}{16 \text{ cm}^2} = 0.0436 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} * (10000 \text{ cm}^2) = 436 \text{ g}$$

**B. Resistencia a la rotura.** Al momento de llevar a cabo el ensayo es necesario cortar las muestras según la norma descrita anteriormente, estas se observan en la **Tabla 7**, donde se tiene en cuenta el corte en sentido a la trama y a la urdimbre. Una vez realizado el corte se debe programar el equipo para el ensayo pertinente agregando las modificaciones especiales que sugiere la norma como lo es la velocidad del ensayo, la cual para el mismo se tomó de 100 mm / min. Posterior al ingreso del tipo de ensayo en el equipo se realizó el montaje de la muestra cómo se observa en la **Imagen 18**; se procede a calibrar el equipo antes de cada corrida y se generan las gráficas de fuerza (N) vs desplazamiento en (mm) y fuerza (N/ mm<sup>2</sup>) vs porcentaje de deformación.<sup>58</sup>

**Tabla 7.** Corte de muestras resistencia a la rotura, sentido trama y urdimbre



**Fuente:** elaboración propia.

<sup>58</sup> UPCOMMONS. Resistencia a la rotura [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

**Imagen 18.** Montaje ensayo de rotura máquina universal de medida



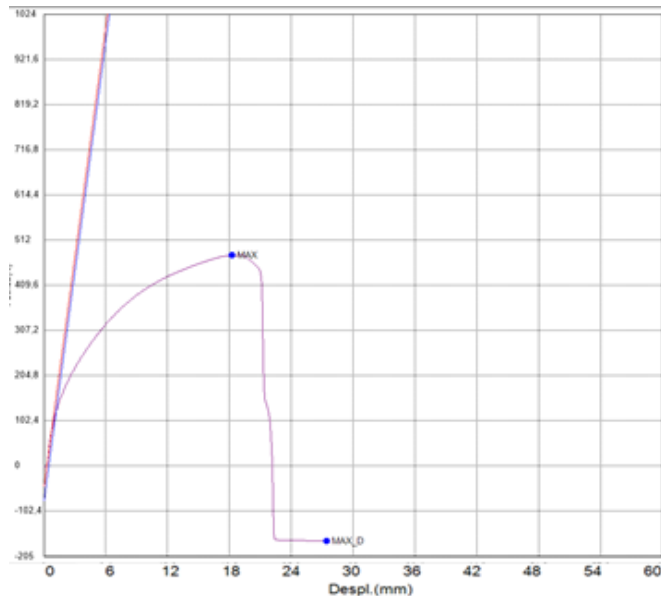
**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas mediante el programa de la máquina universal de medida que hacen referencia a la rotura en sentido a la trama y en sentido a la urdimbre, cabe resaltar que se presenta un valor más grande de resistencia cuando la muestra es cortada en sentido a la urdimbre, lo que corresponde al hilo más grueso presentado en el banner.

- **Banner tipo brillante.** El banner tipo brillante se compró en la empresa Papelería y adhesivos ADH, al realizar el ensayo de resistencia a la rotura no se presentaba ninguna alteración.

En el **Gráfica 8** se muestran los resultados del ensayo realizado en sentido a la urdimbre y se evidencia un desplazamiento de aproximadamente 18 mm hasta su rotura, en el **Anexo G** se observa de igual manera los datos de fuerza ejercida y el desplazamiento de la muestra, pero en sentido a la trama, presentando un desplazamiento de aproximadamente 20 mm hasta su rotura; así mismo en el **Anexo H** se muestra la deformación que este presenta en sentido a la urdimbre y en sentido a la trama respectivamente siendo estas de 18 % y 21 %.

**Gráfica 8.** Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner brillante a través de la urdimbre.



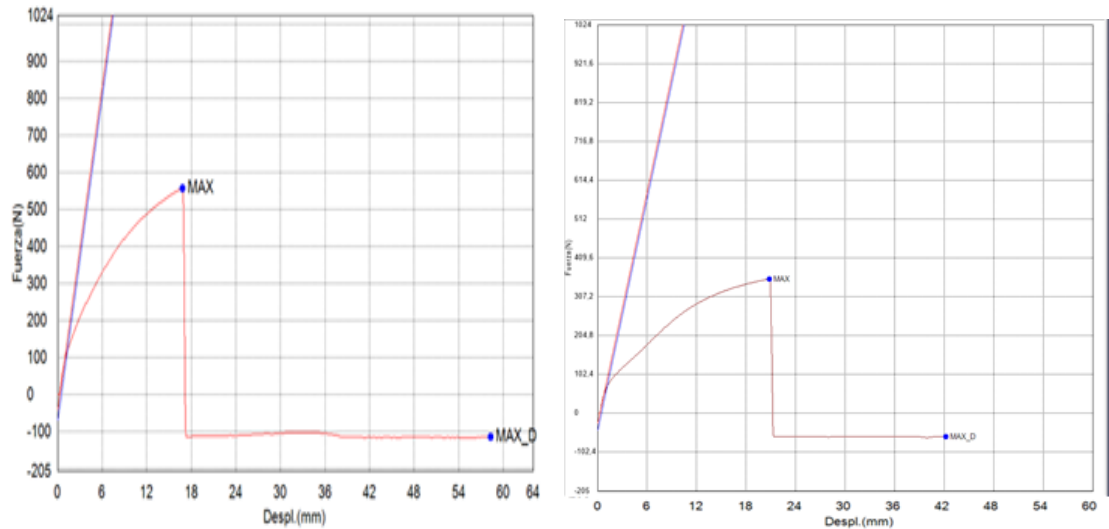
**Fuente:** elaboración propia.

- **Banner reciclado tipo brillante.** El banner reciclado tipo brillante se tomó como residuos generados, este banner presentaba suciedad y tinta de tonalidades azules, por lo que se optó por lavarlo antes de pasar por el ensayo de resistencia a la rotura.

En el **Gráfica 9** se observa la resistencia presentada por este tipo de banner, de igual forma se realizó primero en sentido a la urdimbre como lo muestra dicho gráfico (lado izquierdo) y posteriormente en sentido a la trama (lado derecho); ambas gráficas hacen referencia a un desplazamiento similar al presentado por el banner tipo brillante de calidad nuevo, estos son de 21 mm y 17.5 mm respectivamente para sentido urdimbre y sentido trama. La **Imagen 19** muestra el estado de la probeta al realizar el ensayo. El **Anexo H** muestra la deformación que estos presentan según el corte realizado a la muestra en sentido a la urdimbre un valor de 18



**Gráfica 9.** Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner reciclado tipo brillante a través de la urdimbre y a través de la trama.



**Fuente:** elaboración propia.

En el grafico anterior se observa al lado izquierdo un valor mayor de resistencia de aproximadamente 580 N el cual corresponde a el corte en sentido a la urdimbre lo que significa que existe mayor resistencia en este sentido con respecto a el corte realizado a través de la trama.

**Imagen 19.** Resultado ensayo de rotura banner reciclado tipo brillante

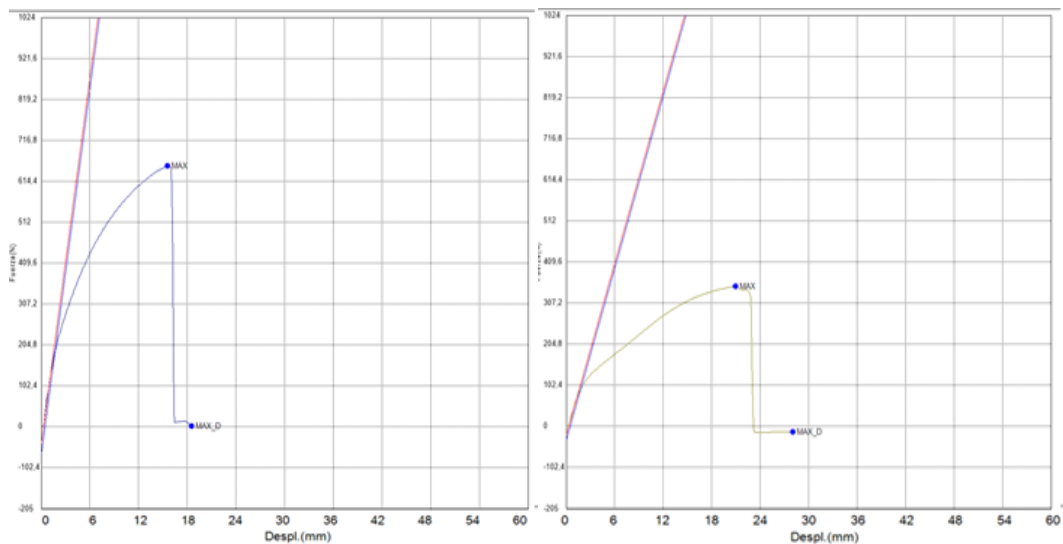


**Fuente:** elaboración propia.

- **Banner tipo mate.** El banner tipo mate fue adquirido por la empresa Sky Colors nuevo, este banner fue empleado en el ensayo de resistencia a la rotura sin realizarle ninguna modificación por lo que se esperaba que los valores generados correspondieran con los valores suministrados por la empresa.

En el **Gráfica 10** al lado izquierdo se muestra la resistencia presentada por el banner tipo mate en sentido a la urdimbre y un desplazamiento de 17 mm, en el lado derecho se ve la resistencia presentada cuando el banner es cortado en el sentido a la trama, el cual presenta un desplazamiento 23 mm. En el **Anexo H** esta la deformación generada en los mismos teniendo en cuenta el corte en sentido a la urdimbre, en este caso de 23 % y en sentido a la trama de 16 %.

**Gráfica 10.** Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner tipo mate a través de la urdimbre y a través de la trama.



**Fuente:** elaboración propia.

En el **Gráfica 10** se observan los cortes realizado en sentido a la urdimbre en el lado izquierdo y sentido a la trama en el lado derecho, se ve que en el lado izquierdo existe un valor mayor de resistencia de aproximadamente 637 N, permitido así comprobar que posee mayor resistencia a la rotura el sentido a la urdimbre esto debido al grosor de los hilos.

- **Banner Reciclado tipo mate.** El banner reciclado tipo mate fue proporcionado por una empresa ubicada en Bogotá, la cual presentaba el banner con pigmento en diferentes tonalidades, la cara posterior del banner reciclado presentaba una pigmentación negra, como se muestra en la **Imagen 20**.

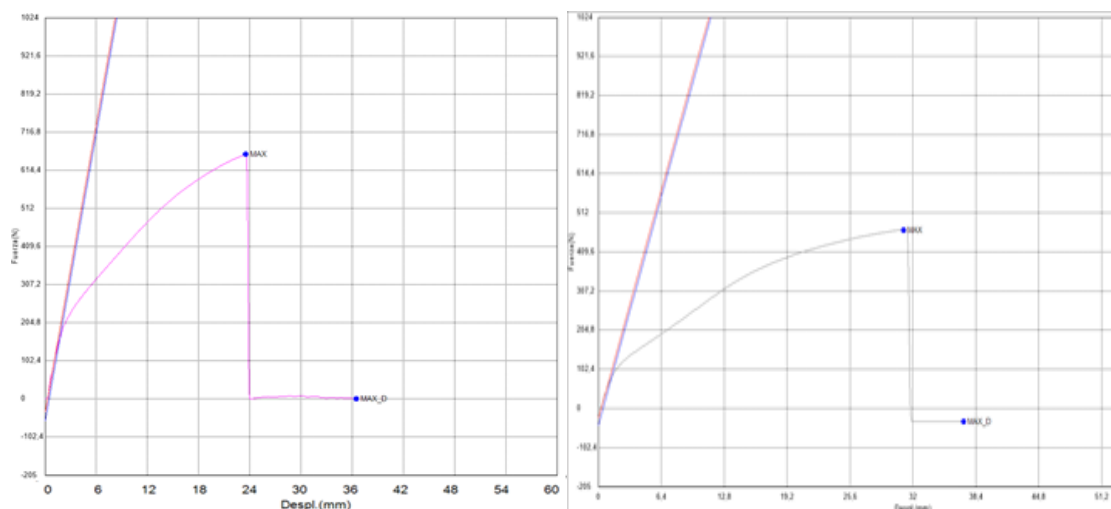
En la **Gráfica 11** lado izquierdo se muestra el desplazamiento en sentido a la urdimbre para este tipo de banner el cual corresponde a 24 mm, en el lado derecho el desplazamiento es de 32 mm para el corte en sentido a la trama, esto evidenciando que presenta mayor elasticidad. En el **Anexo H** se muestra la deformación presentada por los mismos, teniendo en cuenta de igual forma el corte en sentido a la urdimbre y en sentido a la trama estos valores corresponden a 23.8 % y 31 %

**Imagen 20.** Resultado banner reciclado tipo mate



**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfica 11.** Resistencia a la rotura en cantidad de fuerza aplicada por desplazamiento en milímetros, banner reciclado tipo mate a través de la urdimbre y a través de la trama.

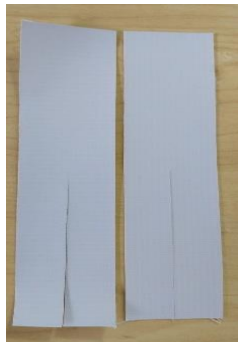





**Fuente:** elaboración propia.

Se evidencia en el grafico anterior un cambio mínimo en el desplazamiento (mm) al someter ambas muestras a el ensayo de resistencia a la rotura.

**C. Resistencia al desgarró.** Los detalles de la metodología empleada para la realización del análisis de resistencia al desgarró en las distintas probetas de banner se presentarán en los ítems subsecuentes, en la **Tabla 8** se observan las probetas empleadas.

**Tabla 8.** Probetas iniciales, resistencia al desgarró.

Banner brillante	Banner reciclado brillante	Banner tipo mate	Banner reciclado tipo mate
			

**Fuente:** elaboración propia.

- **Probetas de medición.** Las probetas fueron inicialmente cortadas en forma de “pantalón” de acuerdo con la norma ISO 13937-2 del 2000<sup>59</sup> como se observa en la tabla anterior, pero al iniciar el método de caracterización la máquina de medida contaba con mandíbulas de un ancho inferior al de las probetas, impidiendo que la fuerza fuese la misma en toda el área; es por esto que se decidió reducir el ancho de las muestras a una medida de 4cm o bien 40mm, eliminando 0.5mm de las orillas de las mismas, conservando el largo inicial que fue de 200mm.
- **Generación de datos.** La máquina universal de medida o máquina de pruebas de tasa de extensión constante fue puesta a funcionar a una velocidad de 100mm/min para las muestras que tenían 0,45mm de espesor. Los gráficos generados con el programa que se encontraba ligado a la máquina registraron la carga necesaria para propagar el desgarro a través de la longitud de la muestra en Newtons por milímetro de desplazamiento. La **Imagen 21** muestra el desgarro de una de las probetas realizado a través de la trama.

**Imagen 21.** Desgarro a través de la trama.



**Fuente:** elaboración propia.

- **Distinción de los tipos de banner.** Al tener cuatro tipos diferentes de banner se realizaron dos pruebas de desgarro en cada uno, una por la trama y otra por la urdimbre, con el fin de comprobar si existía diferencia en los valores de

---

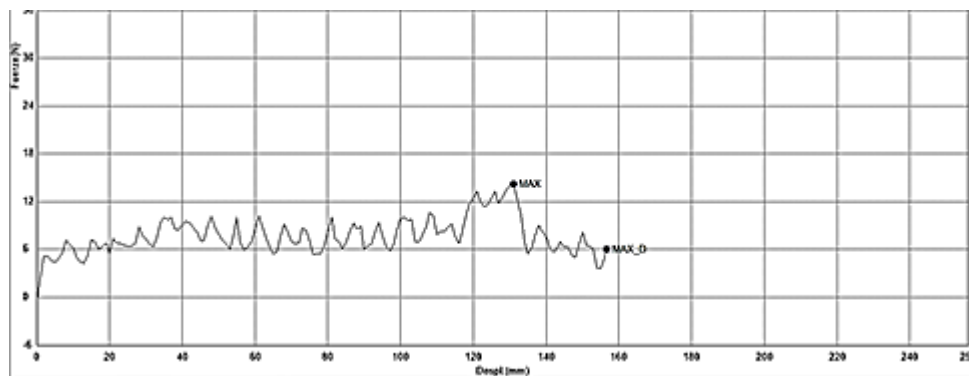
<sup>59</sup> TEXTILES-TEAR PROPERTIES OF FABRICS [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://archive.org/details/gov.in.is.6489.1.2011>

resistencia entre los sentidos del tejido e igualmente diferencia entre los tipos de banner.

Cada una de las pruebas generadas arrojo valores de desgarro y también un gráfico donde se puede evidenciar la fuerza utilizada por milímetros de longitud; así mismo, dada la cantidad de gráficas obtenidos, se mostrarán algunas y las restantes se encontrarán adjuntas en el **Anexo I**.

- **Banner tipo brillante.** El banner fue adquirido de la empresa Papelería y adhesivos ADH, este al momento de realizado el método de resistencia al desgarro no presentaba ninguna alteración o uso. El desgarro se realizó primero a través de la trama obteniendo una fuerza de resistencia máxima de 62N y posteriormente a través de la urdimbre con resultados de 15N como se observa en la **Gráfica 12**.

**Gráfica 12.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud a través de la urdimbre, banner brillante.



**Fuente:** elaboración propia.

En el gráfico anterior se observa que la fuerza se alterna entre alta y baja a lo largo de la probeta; los puntos altos representan el momento de desgarro de los hilos de poliéster tipo PET que presentaban mayor resistencia dada su posición perpendicular al desgarro mientras que los picos bajos muestran la fuerza requerida para la propagación por los espacios vacíos entre hilos donde se desgarra el PVC.

- **Banner reciclado tipo brillante.** Este se tomó de los residuos generados por una empresa en la ciudad de Bogotá, el cual presentaba suciedad e igualmente exhibía tinta en su cara anterior primando el color azul medio; por otra parte, su cara posterior no tenía ningún cambio y presentaba el color blanco característico del banner.

Al igual que el banner brillante, la prueba se realizó primero a través de la trama, cuya fuerza empleada para generar el desgarro fue de 28N; posteriormente se realizó el desgarro que debía ser a través de la urdimbre pero que por el contrario se propagó nuevamente a través de la trama rompiendo la probeta y tomando un camino diferente al establecido por el método como lo muestra la segunda probeta en la **Imagen 22**, razón para considerar los resultados de esta última como inválidos, esclareciendo que la norma permite descartar hasta tres.

**Imagen 22.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud, banner reciclado brillante.

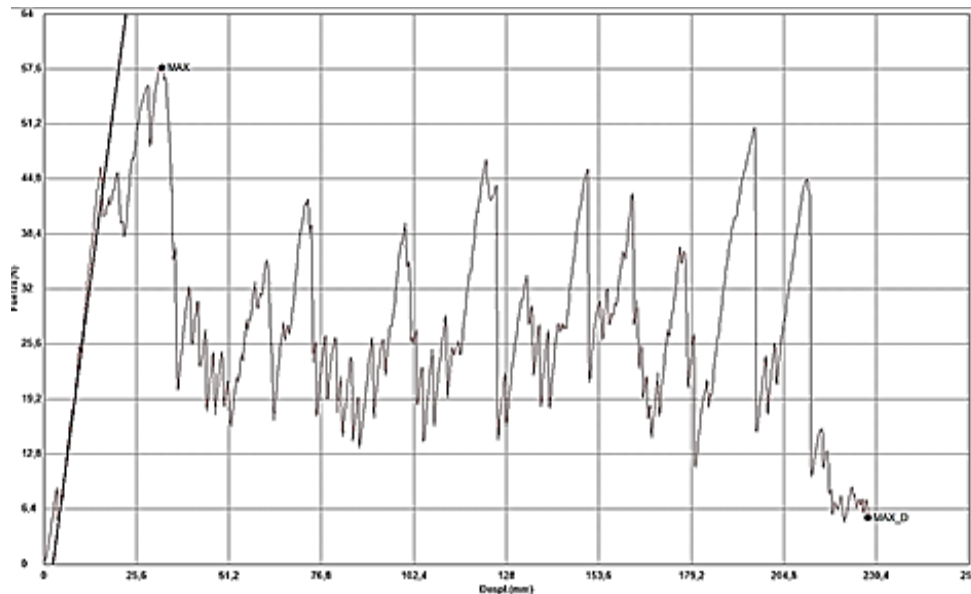


**Fuente:** elaboración propia.

- **Banner tipo mate.** Este banner nuevo fue obtenido de la empresa Sky Colors; se le realizó la prueba de resistencia al desgarro para comprobar las características físicas ofrecidas por la empresa en su ficha técnica. El banner al momento de realizada la prueba no presentaba ninguna clase de daños o cambios debido a algún uso previo. El resultado de desgarro a través de la trama fue de 28N y a través de la urdimbre de 58N.
- **Banner reciclado tipo mate.** El banner inicialmente se encontraba completamente limpio. Exhibía tinta en su cara anterior donde primaban los colores negro y verde; por otra parte, en su cara posterior presentaba un color negro, esto debido al uso de un banner tipo mate de cara negra. Los resultados a través de la trama y a través de la urdimbre fueron respectivamente 67.6N y

31N, obteniendo la **Gráfico 13** para el desgarro en el sentido de la trama y el **Gráfica 14** para el desgarro en el sentido de la urdimbre.

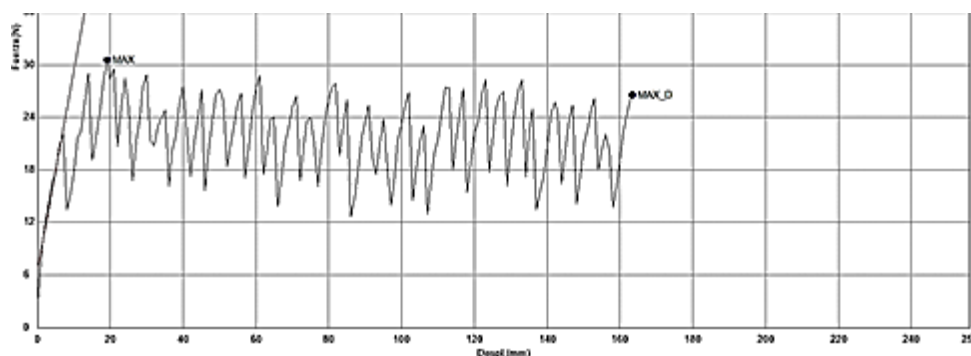
**Gráfica 13.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud a través de la trama, banner reciclado tipo mate.



**Fuente:** elaboración propia.

Al presentar cada hilo de la trama mayor cantidad de hebras que las encontradas en los hilos de la urdimbre se aplica una mayor fuerza para romperlos, como en este caso que la fuerza máxima necesaria se duplico con respecto a la empleada a través de la urdimbre.

**Gráfica 14.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud a través de la urdimbre, banner reciclado tipo mate.



**Fuente:** elaboración propia.

Se evidencia que los picos superiores en el desgarro propagado a través de la trama se encuentran a una mayor distancia entre ellos que los del desgarro a



través de la urdimbre esto debido a la estructura que presenta el tejido del banner. Así mismo la fuerza empleada para el desgarro de los hilos a través de la urdimbre presenta una menor fuerza empleada dada la cantidad menor de hebras que estos presentan.

**2.5.3 Resultados de los métodos de caracterización física.** Para realizar un análisis adecuado de resultados se procede a tabular los valores de peso de fabricación, resistencia al desgarro y resistencia a la rotura de diferentes empresas, con el fin de obtener un promedio de estos valores que permitan ser comparados con los resultados de los métodos anteriormente empleados; estos valores se muestran en el **Anexo J**.

El promedio de los datos para peso de fabricación fue 428 g, para resistencia a la rotura a través de la trama 490,2 N/5cm y a través de la urdimbre 543 N/5cm, finalmente para resistencia al desgarro a través de trama fue 109,25 N y a través de la urdimbre 133,75 N. En la **Tabla 9** se encuentran listados los datos obtenidos experimentalmente para los ensayos descritos anteriormente.

**Tabla 9.** Resultados obtenidos prueba de caracterización física.

<b>Caracterización física</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Sentido de corte</b>	<b>Valor</b>	
Peso de fabricación promedio		440,7 g	
	Tensión	Trama:	194,5 N/5cm
Resistencia a la rotura promedio	Desplazamiento	Urdimbre:	318,8 N/5cm
		Trama:	24 mm
	Deformación	Urdimbre:	19,2 mm
		Trama:	23,75%
Resistencia al desgarro promedio		Urdimbre:	18,95%
		Trama:	39,3 N
		Urdimbre:	34,66 N

**Fuente:** elaboración propia.

**A. Peso de fabricación.** Con los datos obtenidos de peso de fabricación realizados a escala laboratorio para muestras cortadas de 4cm x 4cm para cada tipo de banner ya establecido anteriormente, se obtuvieron valores iguales a los suministrados por las empresas. Teniendo en cuenta la correlación del tamaño y el escalado de la muestra de 1:25, estos valores corresponden a 440 g por metro cuadrado de muestra. Los valores obtenidos por cada tipo de banner se

muestran listados en la **Tabla 10** con su respectivo valor de 4 cm cuadrados y en metros cuadrados.

**Tabla 10.** Peso de fabricación para cada tipo de banner

Tipo de Banner	Peso de fabricación	
	4cm x 4cm	1 m x 1 m
Reciclado tipo brillante	0,0436	436
Tipo Brillante	0,044	440,43
reciclado tipo mate	0,0436	436
Tipo mate	0,043	446

**Fuente:** elaboración propia.

En la **Tabla 10** se puede conocer el peso presentado por las muestras de banner tipo reciclado y tipo sin alteración o nuevo, las cuales fueron cortadas a 4cm x 4cm generando valores de peso similares; posteriormente se calculó su valor correspondiente para la dimensión de 1 m x 1m y se evidencio que el valor de peso era invariable entre las muestras de los cuatro tipos de banner, lo que demuestra que no hay perdidas en el peso al tratarse de un material reciclado comparado con el material sin alteraciones.

- B. Resistencia a la rotura.** Los datos obtenidos al realizar los respectivos ensayos se muestran en la **Tabla 11**; es posible demostrar que el Banner presenta mayor resistencia a la rotura cuando es cortado en sentido a la urdimbre y que pierde dicha resistencia cuando es reciclado.

Como se observa anteriormente los valores obtenidos al realizar el ensayo de resistencia a la rotura son cercanos al valor mínimo proporcionado por las fichas técnicas de las empresas estos son en promedio 543 N/5cm en sentido a la urdimbre y 490,2 N/5cm en sentido a la trama, por lo que se opta por utilizar como referencia el mayor valor generado al realizar el ensayo, este corresponde a un valor para el corte realizado a través de la urdimbre que oscila entre 269,135 N/5cm y 362,885 N/5cm y a través de la trama que oscila entre 148,861 N/5cm y 225,066 N/5cm. De igual forma se presenta una relación entre los mm desplazados y la deformación que este presenta, permitiendo así apreciar una estabilidad en los tejidos antes de su ruptura.

**Tabla 11.** Resultados ensayo resistencia a la rotura

Tipo de Banner	Sentido de corte	Resistencia a la rotura			
		Tensión (N/ 5cm)	Tensión (N/mm <sup>2</sup> )	Despl. (mm)	Defor. (%)
Reciclado tipo brillante	trama	212,4315	424,863	20	21
	urdimbre	324,4415	648,883	18	18
Tipo Brillante	trama	225,066	450,132	21	20
	urdimbre	362,885	725,77	17,5	18
Tipo mate	trama	148,8615	297,723	23	23
	urdimbre	318,5825	637,165	17	16
Reciclado tipo mate	trama	207,5745	415,149	32	31
	urdimbre	269,135	538,27	24	23,8

**Fuente:** elaboración propia.

**C. Resistencia al desgarro.** Los resultados de la resistencia al desgarro de los cuatro tipos de banner se tabularon en la **Tabla 12**, donde se obtuvo valores bajos de fuerza empleada en comparación a los datos extraídos de las fichas técnicas inicialmente nombradas, teniendo un rango entre 15N y los 67.6N; éste último dato sobrepasa en 7.6N el valor mínimo de resistencia expuesto por la empresa Singsupply, que establece que los valores de desgarro están por encima de los 60N de fuerza, dándole validez a los datos tomados en el laboratorio.

**Tabla 12.** Resultados ensayo resistencia al desgarro.

<b>Resistencia al desgarro</b>		
Tipo de Banner	Sentido de corte	Fuerza máxima (N)
Brillante	A través de la trama	62
	A través de la urdimbre	15
Reciclado tipo brillante	A través de la trama	28
	A través de la urdimbre	N/A
Tipo mate	A través de la trama	28
	A través de la urdimbre	58
Reciclado tipo mate	A través de la trama	67.6
	A través de la urdimbre	31

**Fuente:** elaboración propia.

## 2.6 CONCLUSIONES DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

En los apartados anteriores del presente capítulo se establecieron las características físicas y la composición de banner, asegurando de esta manera que el material tejido corresponde a poliéster del tipo PET y que las dos capas que lo recubren son de PVC flexible. De igual manera se determinó la composición de la tinta presente diferenciando sus grupos funcionales en los espectros generados al realizar la espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier; del mismo modo se aseguró que la composición suministrada por las empresas distribuidoras de tinta en las fichas técnicas hace referencia a tintas eco- solventes.

Al determinar las propiedades físicas del banner como lo son peso de fabricación, resistencia a la rotura y resistencia al desgarro se comprobó que el material mantiene sus propiedades, aunque este fuera expuesto al uso; una vez realizada la caracterización se pueden evaluar los métodos de aprovechamiento con base a las características físicas y químicas del material, estos datos son tabulados en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Resultado final de la caracterización del banner.

<b>Caracterización química</b>			
<b>Polímeros base</b>	<b>Grupo funcional</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cualidad</b>
PVC		Flexible	Densidad: 1,19 g/cm <sup>3</sup> Opacidad Sin resistencia a los ácidos fuertes
Poliéster		PET	
Tinta	C=O (saturado) Anillo aromático C=C (aromático) Éter (aromático y vinílico) Trifluoro metilo Alcohol terciario Cloro alcanos Cetona C = CH <sub>2</sub> C=CH	Eco-solvente	
<b>Caracterización física</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Sentido de corte</b>		<b>Valor</b>
Peso de fabricación promedio			440,7 g
	Tensión	Trama:	194,5 N/5cm
Resistencia a la rotura promedio	Desplazamiento	Urdimbre:	318,8 N/5cm
		Trama:	24 mm
	Deformación	Urdimbre:	19,2 mm
		Trama:	23,75%
Resistencia al desgarro promedio		Urdimbre:	18,95%
		Trama:	39,3 N
		Urdimbre:	34,66 N

**Fuente:** elaboración propia.

### 3. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO MECÁNICO

En el capítulo anterior se caracterizó el material base que ofrecía características favorables de resistencia a la rotura y de resistencia al desgarro, además se corroboró que se encontraba compuesto con dos de los polímeros más versátiles que ofrecen buenas características en los productos donde son implementados; es por esto que la propuesta de aprovechamiento mecánica se desarrollará fundamentada en la creación de un producto nuevo donde pueda ser añadido el banner para verificar finalmente si la teoría de mejoramiento de propiedades físicas es verídica con pruebas ya sea de resistencia o alguna otra que se aplique a dicho producto.

#### 3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para la selección del método físico de aprovechamiento se evaluaron seis productos finales teniendo en cuenta la búsqueda bibliográfica de los mismos; al ser la materia prima una mezcla de PVC y PET se realizará una correlación entre las propuestas citadas bibliográficamente y las posibles obtenidas con el material base haciendo énfasis en que es más fácil reciclar una materia prima que contenga solo un tipo de polímero<sup>60</sup> y no que sea un polímero multimaterial. Dichas propuestas de aprovechamiento son listadas en el **Cuadro 1** en donde se mostraron las principales características, ventajas y desventajas que conlleva la posible realización de cada una.

- **Criterio de preselección.** Una vez estipuladas las características principales de los posibles productos obtenidos junto con sus ventajas y desventajas se analizan a fondo las implicaciones de la fabricación de cada uno, buscando descartar las propuestas que no fueran óptimas para emplear dos clases de polímeros como los presentes en el banner.

Inicialmente se infiere que tiene una mayor dificultad producir el betún asfáltico reforzado con polímeros dado que, como se menciona en el artículo<sup>61</sup>, el betún puro es reforzado con escamas de polietileno reciclado y goma de neumático variando su composición mientras se realizan análisis reológicos, esto conlleva a una dificultad en el procedimiento además que los materiales con que cuenta el banner no son implementados en dicho betún y no se tiene garantía de que la implementación de polímeros diferentes mejoren las propiedades físicas de dicho producto. De igual manera ocurre con la propuesta de asfalto reforzado con desechos de PVC<sup>62</sup> donde además de emplear un proceso complejo se muestran

---

<sup>60</sup> SADAT, S. polimeros degradación y estabilidad. 2011

<sup>61</sup> LUZANA L. Study of the feasibility of producing modified asphalt bitumens using flakes made from recycled polymers. 2019.

<sup>62</sup> comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC Fredy Alberto (2013)

**Cuadro 1.** Propuestas de aprovechamiento mecánico, ventajas y desventajas de aplicación.

<b>Propuestas de aprovechamiento mecánico</b>			
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Material compuesto reforzado con aserrín. <sup>63</sup>	Se propone la fabricación de un material compuesto de Polímero – aserrín o aglomerado, en donde se efectúa un énfasis en la utilización de materiales reciclados para su fabricación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mejoramiento de propiedades físicas como el incremento de la dureza y rigidez del material resultante a causa de buena adhesión interfacial.</li> <li>➤ Uso y reciclaje de materiales de desecho.</li> <li>➤ Reducción de costos por uso de material reciclado.</li> <li>➤ Disponibilidad de materia prima.</li> <li>➤ Ganancia económica superior a los mil millones de dólares anuales.<sup>64</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No desarrollado en América latina, con única aplicación de estudios experimentales a nivel laboratorio.</li> <li>➤ Superficie rugosa del material resultante e irregular homogeneidad de la estructura en algunas secciones.</li> </ul>
Asfalto reforzado con polímeros <sup>65</sup>	El asfalto reforzado con polímeros permite aumentar las propiedades físicas y reológicas a altas temperaturas de servicio del cemento y presenta un aumento en la temperatura máxima de operación en servicio del ligante modificado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Disponibilidad de materias primas</li> <li>➤ Mejoramiento de propiedades debido a que rigidiza el ligante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poca disponibilidad de maquinaria utilizada: hornos rotatorios.</li> <li>➤ Generación de gases provenientes de polímeros al aumentar la temperatura</li> <li>➤ Baja disponibilidad de equipos para medición de propiedades reológicas.</li> </ul>

<sup>63</sup> GONZALES, Jesus.; PINGARRON, Arturo. DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO PLÁSTICO (PP)-MADERA (ASERRÍN) USANDO MATERIAS PRIMAS DE REUSO. En: 14 Congreso Internacional Anual de la SOMIM 2008. Septiembre,2008, pag 91-99

<sup>64</sup> Jiménez Isabel, La fuerza de la madera en los plásticos, Artículo Tecnología del Plástico, Edición 6-Vol 20-Julio/agosto 2005.

<sup>65</sup> Reyes, Fredy.;GUAQUETA, Catalina.;PORRAS, Laura.; RONDON, Hugo. Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. En: revista de ingeniería universidad de medellin. Mayo,2013, pag 75-84.

**Cuadro 1. Continuación**

<b>Propuestas de aprovechamiento mecánico</b>			
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Fibras recubiertas de almidón como agente de acoplamiento para materiales de polímero- aserrín con madera <sup>66</sup>	Se propone el uso de goma de almidón (SG) como agente de acoplamiento para una matriz polimérica, este agente permite reforzar la matriz al ser recubierto por la misma, de igual forma es comparado con anhídrido maléico injertado y se presenta un rendimiento inferior para la goma de almidón, sin embargo, es considerado como precursor de una alternativa más sustentable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reemplazo del agente de acoplamiento habitual MAPP.</li> <li>➤ Mayor cohesión en el refuerzo polimérico.</li> <li>➤ Aumento del módulo elástico en el polímero reciclado.</li> <li>➤ Promueve interacción compatible en el polímero reciclado para producción de compuestos de bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor rendimiento para polímero virgen.</li> <li>➤ Formación de espacios vacíos presentando valores bajos de propiedades de tracción.</li> </ul>
Material compuesto con lignocelulosa, plástico y adición de calor como compactante <sup>67</sup>	Los aglomerados fabricados con partículas lignocelulosas proveniente de plantas; son comparados con aglomerado comerciales de madera. Los aglomerados fabricados son mezclados con resinas termoestable, prensados y sometidos a un aumento de temperatura por un periodo de tiempo hasta su curado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Proyecto realizado en Quindío- Colombia</li> <li>➤ Fabricación de piezas de grandes dimensiones</li> <li>➤ Bajo consumo energético</li> <li>➤ Baja emisión de anhídrido carbónico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baja disponibilidad de equipos para el prensado a altas temperaturas</li> <li>➤ Uso de molino de cuchillas para desfibrilación y balanza de humedad</li> <li>➤ Quiebre del material resultante en menor valor de esfuerzo.</li> </ul>

<sup>66</sup> ROCHA, Daniel.; SANTOS, Derval. Efecto de acoplamiento de fibras recubiertas de almidón para polímeros reciclados / compuestos de madera. En : Compuestos parte B: ingeniería. Septiembre, 2019 pag 1-8.

<sup>67</sup> GAITAN, Alexander.; FONTHAL, Gerardo.; ARIZA, Hernando. Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata. En : revistas de ciencias técnicas agropecuarias. Marzo, 2016. Vol 25.



**Cuadro 1. Continuación**

<b>Propuestas de aprovechamiento mecánico</b>			
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Betunes asfálticos modificados con escamas de polímeros reciclados <sup>68</sup>	El uso de ligantes modificados con polímeros en la construcción de pavimentos más duraderos con menores costos de mantenimiento tiende a ser costoso por lo que se evalúa el uso de polímeros reciclados para la obtención de un betún o aglomerante limpio, se evalúa la incorporación de polímeros reciclados en betún comercial, modificando las concentraciones del mismo y evaluando la resistencia que este presenta cuando es expuesto al tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pavimentos duraderos</li> <li>➤ Menores costos de mantenimiento</li> <li>➤ Mitigación de deficiencias generadas por tráfico pesado y temperaturas extremas en el asfalto</li> <li>➤ Reducción de presión de polímeros sobre vertederos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No es económicamente factible ya que incrementan el rendimiento final de la instalación.</li> <li>➤ Minúscula estabilidad de almacenamiento del ligante resultante.</li> <li>➤ Difícil obtención de dispersión homogénea del polímero en el tanque</li> </ul>
Reciclaje de productos poliméricos multimaterial mediante micronización <sup>69</sup>	Se evalúa la viabilidad al aplicar una micronización (disminución de tamaño) de polímeros multimaterial evaluando el potencial de los materiales resultantes en su uso en los nuevos productos posterior a un moldeo por inyección, para este estudio se hizo uso de polímeros reciclados provenientes de cepillos de dientes y se encontró que el	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ viabilidad en el reproceso de materiales co-inyectados</li> <li>➤ No se presenta degradación ni daños a los equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Escasa disponibilidad de equipos para extrusión e inyección</li> <li>➤ Irregularidad en el material resultante</li> <li>➤ Requerimiento energético para disminuir el tamaño de partícula (polvo)</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia.

<sup>68</sup> ARAYA, Felipe.; GONZALEZ, Alvaro.; DELGADILLO,Rodrigo.; WAHR, Carlos.;GARCIA,Gabriel.; ZUÑIGA,Rogelio. Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados. En : revista de ingeniería de construcción. Diciembre, 2012 pag 198-210

<sup>69</sup> CLEANER PRODUCTION. Recycling polymeric multi-material products through micronization. Elisa G.Ashton.Volumen 116. Pag 268-278 (2016)

las bajas características mecánicas resultantes de dicho material, convirtiendo así improductiva su fabricación. Por otro lado el artículo acerca de las fibras recubiertas de almidón como material de acoplamiento si habla de la combinación de polímeros y aserrín en una matriz polimérica pero su enfoque va más relacionado al cambio del agente de acoplamiento MAPP a almidón, sin considerar las proporciones del polímero y del aserrín<sup>70</sup>, caso contrario al que ocurre en la primera propuesta referenciada en la tabla anterior donde se habla del material compuesto reforzado con aserrín<sup>71</sup> y se hace énfasis en cómo cambia la estructura del material fabricado conforme cambian las proporciones del plástico con respecto al aserrín; es por esto que se decide únicamente tener en cuenta la segunda propuesta mencionada en este párrafo enfocándose en la matriz del material compuesto sin dar mayor importancia al agente de acoplamiento.

- **Resultados de preselección.** Dicho lo anterior se tienen como posibles propuestas de aprovechamiento físicas del banner el material compuesto reforzado con aserrín, el material compuesto con lignocelulosa, plástico y adición de calor compactante y finalmente la propuesta de reciclaje de productos poliméricos multimaterial mediante micronización.

### 3.2 METODO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En la selección de las alternativas se emplea la metodología Pugh, esta se basa en una matriz de decisión empleada para destacar de forma selectiva las características de los métodos de aprovechamiento. Se tuvieron en cuenta los criterios selección mostrados a continuación, usados para escoger las propuestas de aprovechamiento tanto mecánicas como químicas<sup>72</sup>.

**3.2.1 Criterios de selección.** En el proceso de selección de las alternativas de aprovechamiento se tuvo en cuenta los siguientes criterios: disponibilidad de materia prima, disponibilidad de equipos, tiempo de ejecución, contaminación generada y antecedentes, definidos así:

- **Disponibilidad y costos de materia prima.** Este criterio de selección hace referencia a la facilidad de conseguir la materia prima debido al costo de la misma y si es preciso la temporada en la que debe ser recolectada.
- **Disponibilidad de equipos.** Debido a que la experimentación es realizada en los laboratorios de Tecno Parque Sena, la propuesta debe estar limitada a los

---

<sup>70</sup> Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites Daniel. N (2019)

<sup>71</sup> desarrollo de un material compuesto plástico (pp)-madera (aserrín) usando materias primas de reusó Arturo B. (2008)

<sup>72</sup> COPFORDPRC. Metodología pugh [en línea] [consultado el 15 de abril 2019]. Disponible en: <http://copfordprc.com/software/>

equipos que ellos facilitan o a los equipos a los que se puede acceder fácilmente en otras instituciones, es por esto por lo que el mayor puntaje lo obtendrán las propuestas para las cuales se dispongan todos los equipos.

- **Tiempo de ejecución.** Dado a que el proyecto está limitado para su ejecución a 6 meses es necesario evaluar el tiempo que tarda en obtenerse el resultado de la propuesta de aprovechamiento empleada, obteniendo mayor puntaje las de más rápida ejecución.
- **Contaminación generada.** Ya que el enfoque del proyecto es mitigar el impacto ambiental generado por los residuos de banner es preciso buscar una alternativa que no represente una amenaza para el medio ambiente.
- **Antecedentes.** Es este criterio se busca evaluar la confiabilidad y cantidad de información suministrada por las fuentes bibliográficas, teniendo en cuenta la efectividad de los métodos de aprovechamiento, evaluando la calidad de los mismo y su implementación mundial.

**3.2.2 Prioridad de los criterios.** Para la priorización de los criterios se tomaron valores del 0 a 100, en donde 0 puntos hace referencia a un criterio de selección que de no ser cumplido no afecta el avance del proyecto y 100 puntos para los criterios que de no dárseles cierta propiedad podrían llegar a afectar la calidad o la eficiencia del producto y/o proceso final.

- **Disponibilidad de materia prima.** 85 puntos. Con base a las cantidades manejadas este cuenta con la puntuación más alta debido a que en el territorio colombiano algunas sustancias presentan restricción como se establece por el ministerio de justicia y del derecho (control para el manejo de sustancia químicas) <sup>73</sup> por lo que es necesario solicitar permisos para su obtención o emplear cantidades mínimas del mismo.
- **Disponibilidad de equipos.** 70 puntos. Al necesitar para la ejecución de la propuesta equipos con tecnología avanzada cabe la posibilidad de que los mismos no se encuentren en el país o que sea difícil su acceso, es por esto por lo que su puntuación es la segunda más alta.
- **Tiempo de ejecución.** 60 puntos. Debido al tiempo dado por la universidad para la ejecución del proyecto es preciso medir correctamente el tiempo que toma la realización de estos, para que su desarrollo no afecte el tiempo estipulado.

---

<sup>73</sup> MINISTERIO DE JUSTICIA. Tramites-Ministerio de justicia [en línea] [consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/Ciudadano/Tramites/Control%20de%20Administraci%C3%B3n%20para%20el%20manejo%20de%20sustancias%20qu%C3%ADmicas.pdf>

- **Contaminación generada.** 30 puntos. Aunque se busca una alternativa sustentable con el medio ambiente se le proporciona la puntuación más baja dado que este no afecta directamente la ejecución del proyecto.
- **Antecedentes.** 55 puntos. Se le asigna una puntuación intermedia puesto que resulta importante como guía al inicio de la experimentación realizada por otros autores, pero en caso de no ser verídica la información se opta por realizar diseños de experimentos que con lleven a la respuesta óptima.

**3.2.3 Escala de puntaje.** Los puntajes empleados para la escogencia de la alternativa de aprovechamiento oscilan entre -2 y 2, siendo -2 un puntaje fijado para una alternativa que no cumple con el criterio estipulado y que puede no ser llevada a cabo, 0 Puntos para una alternativa que no presenta una relación directa con el criterio, sin destacarse sobre las demás alternativas e igualmente sin recibir un indicio de rechazo frente a las mismas y finalmente 2 para una alternativa de aprovechamiento que cumple satisfactoriamente el criterio.

**3.2.4 Construcción de la matriz.** En la primera columna se colocarán las posibles alternativas de aprovechamiento y en las columnas restantes los criterios de selección para obtener un puntaje total en la columna final que será establecido con el uso de la **Ecuación 3**. Los resultados de esta última columna arrojarán las alternativas de aprovechamiento más factibles para su realización tomando en cuenta todos los criterios de selección propuestos y los puntajes dados a cada alternativa.

**Ecuación 3.** Sumatoria de puntaje para criterios de selección.

$$Puntaje\ total = \sum_{Criterio\ 1}^5 Puntaje * Prioridad\ de\ los\ criterios$$

**Fuente:** Applied digital library project management: International digital library perspectives. Cervone, H. 228-232. (2009).

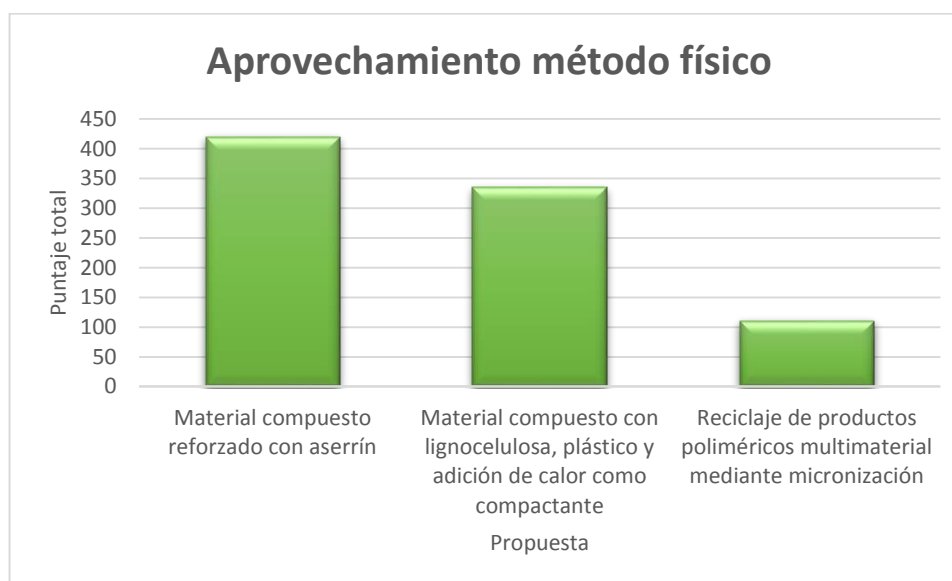
En la **Tabla 14** se presentan las tres alternativas para la propuesta de aprovechamiento por método mecánico con su correspondiente puntaje asignado y el valor total ponderado que obtuvo cada propuesta respectivamente. Igualmente, en la **Gráfica 15** se observa la ventaja que obtuvo la primera propuesta con respecto a las demás.

**Tabla 14.** Escogencia de alternativa de aprovechamiento mecánico.

<b>Criterio</b>	<b>Disp. MP</b>	<b>Disp. equipos</b>	<b>Tiempo ejec.</b>	<b>Cont. generada</b>	<b>Antec.</b>	<b>P Total</b>
Prioridad	85	70	60	30	55	
Material compuesto reforzado con aserrín	2	1	2	2	0	420
Material compuesto con lignocelulosa, plástico y adición de calor como compactante	2	-1	2	2	1	335
Reciclaje de productos poliméricos multimaterial mediante micronización	2	-2	0	-1	2	110

**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfica 15.** Diagrama de barras, alternativas de aprovechamiento mecánico.



**Fuente:** elaboración propia.

### 3.3 APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS

Puesto que el puntaje para cada una de las propuestas respecto a los criterios de selección tiene la posibilidad de obtener valores de la escala de puntaje desde -2 hasta 2, se hace necesario explicar el por qué se le asignan dichos puntajes a cada una respectivamente.

### 3.3.1 Material compuesto reforzado con aserrín.

- **Disponibilidad de materia prima.** 2 puntos. Puesto que el material compuesto únicamente hace uso de resinas, madera en forma de aserrín y polímero reciclado, en este caso el banner, se cuenta con toda la materia prima necesaria para su ejecución.
- **Disponibilidad de quipos.** 1 punto. Este criterio no se cumple en su totalidad puesto que para obtener un aglomerado con las características físicas necesarias se hace uso de una prensa hidráulica con calefacción que no se encuentra disponible en Tecno Parque. Por otro lado, si se cuenta con los demás materiales para su fabricación.
- **Tiempo de ejecución.** 2 puntos. Una vez se cuenta con toda la materia prima, la realización de dicho aglomerado se desarrolla por partes cuya ejecución no es muy complicada y el único tiempo de espera es el secado del aglomerado que se da en no más de 5 días.
- **Contaminación generada.** 2 puntos. Al hacer uso de materiales reciclables como lo es la madera en forma de aserrín y los polímeros no se genera contaminación, sino que por el contrario se mitiga.
- **Antecedentes.** 0 puntos. Se le da esta puntuación neutral dado que, si se presentan en la literatura aglomerados de este tipo, pero no han sido implementados a nivel experimental.

### 3.3.2 Material compuesto con lignocelulosa, plástico y adición de calor.

- **Disponibilidad de materia prima.** 2 puntos. Para la fabricación del aglomerado es necesario contar con resina urea-formaldehído, fibra vegetal y plástico como refuerzo, donde los materiales tienen facilidad de adquisición además de costos no elevados que van desde los 0.25 USD/kg hasta los 0.75USD/kg para la urea<sup>74</sup> y de 2.5USD/kg hasta 3.46USD/kg para la fibra vegetal<sup>75</sup>.
- **Disponibilidad de quipos.** -1 punto. El puntaje fue de carácter negativo debido a que para la producción de este tipo de aglomerados es necesario contar con horno, máquina universal de medida, sierra de madera, planchas térmicas y molino de cuchillas, donde no se cuenta con los tres últimos equipos mencionados.

---

<sup>74</sup> QUIMINET. Reina urea. [en línea]. [Consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/resina-urea-formaldehido-41772200878/precios.htm>

<sup>75</sup> QUIMINET. Fibras vegetales. [en línea]. [Consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/fibras-vegetales-1626241145/precios.htm>

- **Tiempo de ejecución.** 2 puntos. La elaboración del aglomerado no emplea un gasto grande respecto al tiempo de ejecución puesto que solo es necesario el secado de la fibra vegetal, su aserrado, y mezcla con los demás componentes para pasar a una plancha térmica; proceso que no gasta más de un mes.
- **Contaminación generada.** 2 puntos. Al trabajar con estos materiales no se genera contaminación, solo se mitiga sin representar una amenaza al medio ambiente.
- **Antecedentes.** 1 punto. El proyecto fue elaborado en Colombia, específicamente en Quindío, teniendo así información sobre el material realizado en y con materiales del territorio, pero al ser un aglomerado que hasta ahora se desarrolla no presenta una gran cantidad de información.

### 3.3.3 Reciclaje de productos poliméricos multimaterial mediante micronización.

- **Disponibilidad de materia prima.** 2 puntos. Para realizar la micronización de materiales poliméricos únicamente es necesario el polímero a tratar que puede ser multimaterial como es el caso del banner.
- **Disponibilidad de quipos.** -2 puntos. La micronización puede ser realizada con un equipo de molienda como el molino de cuchillas que tiene un difícil acceso dada su disponibilidad. Por otra parte, para realizar el proceso de extrusión y de inyección, existen instituciones y empresas que ofrecen el servicio, pero no es sencillo acceder a ellas al igual que el manejo de este tipo de maquinaria dado que se requieren grandes cantidades de material polimérico con características estipuladas por estos lugares.
- **Tiempo de ejecución.** 0 puntos. El tiempo variará dependiendo la disponibilidad de equipos y sí se logra un fácil acceso a ellos; por otra parte, siempre y cuando se cuente con los equipos necesarios el tiempo de ejecución es corto.
- **Contaminación generada.** -1 punto. La contaminación es mitigada al hacer uso de un residuo que va a parar a los principales centros de desecho, pero el inyectar o extruir dos materiales diferentes genera que sea aún más difícil su separación y reciclaje tradicional al momento de su eliminación.
- **Antecedentes.** 2 puntos. En la literatura se muestran diferentes tipos de experimentación para la extrusión de materiales plásticos e igualmente para su inyección. De la misma manera es presentada variada información sobre polímeros que permite el desarrollo de la propuesta.

### 3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Una vez se tenía seleccionada la propuesta de aprovechamiento mecánica que mejores valores arrojaba en la matriz de Pugh se realizó su desarrollo a nivel experimental para evidenciar el comportamiento de dicha propuesta y así tener las bases para la elaboración de su escalamiento.

Como se observó en el ítem anterior el material reforzado con aserrín, también llamado aglomerado, obtuvo el mayor puntaje de selección; este tipo de producto pertenece a los compuestos de madera y plástico WPC, por sus siglas en inglés Wood-plástico composite. Es fabricado a partir de residuos de fibras de madera y plásticos que presentan la ventaja de minimizar los costos de producción al utilizar materiales de desecho además de que las fibras naturales refuerzan las matrices en la unión de polímeros<sup>76</sup>.

Su fabricación a nivel laboratorio se efectuó a partir de residuos de aserrín de pino ciprés obtenidos de la FABRICA DE MOLDURAS Y BOLILLOS ubicada en Bogotá, igualmente se emplearon los residuos de banner y dos tipos de resinas, la resina de poliéster y el alcohol polivinílico facilitadas por Tecnoparque.

**3.4.1 Propiedades materia prima.** Para fabricar el aglomerado se definieron inicialmente las propiedades tales como la humedad inicial de la madera y el tamaño de partícula del aserrín. Igualmente fueron escogidas las resinas que cumplirían su función como aglutinantes.

**3.4.1.1 Humedad del aserrín.** De acuerdo con la norma ASTM 4442-07<sup>77</sup> que habla de los métodos para la medición del contenido de humedad de madera y el método A allí descrito, que se basa en la técnica de secado en horno primario, fue obtenido el valor de la cantidad de humedad presente en el aserrín; se determinó dicho valor a partir de la **Ecuación 4**, que permite obtener el resultado más preciso del contenido de humedad según la norma.

**Ecuación 4.** Determinación del contenido de humedad.

$$\%Humedad = \frac{Masa\ humeda - Masa\ seca}{Masa\ seca} \times 100$$

**Fuente:** COMPASS.ASTM. [consultado el 02/06/2019] Disponible en: <https://compass.astm.org/CUSTOMERS/search/VIEW/web/viewer.html?file=D4442.39638.pdf>

<sup>76</sup> CORDIS.EUROPA.EU. Materiales de innovación [ en línea] [ consultado el día 17 de abril 2019]. Disponible en: [https://cordis.europa.eu/project/rcn/97292\\_es.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/97292_es.html)

<sup>77</sup> COMPASS.ASTM. Norma resistencia a la tensión materiales compuesto innovación [ en línea] [ citado el día 17 de abril del 2019]. Disponible en <https://compass.astm.org/CUSTOMERS/search/VIEW/web/viewer.html?file=D4442.39638.pdf>



El proceso de secado se ejecutó sobre 100g de aserrín durante tres horas a 103°C ± 2°C como lo especifica la norma para obtener el contenido de humedad a partir de la diferencia de pesos, cuyo valor final dio 89g, obteniendo así un porcentaje de humedad del 12.3596%

$$\%Humedad = \frac{100g - 89g}{89g} \times 100 = 12.3596\%$$

**3.4.1.2 Tamaño de partícula.** Puesto que el aserrín provenía desde la fábrica en diferentes tamaños se hizo necesario tamizar dicha cantidad para establecer el tamaño de partícula que mayor cantidad de masa proveía con el fin de hacer uso de la mayor cantidad de residuo del aserrín; para esto se usaron los números de tamiz 4, 10, 20, 40 y 60, cuya distribución de masa retenida se observa en la **Tabla 15** para una masa inicial de aserrín de 769 con pérdidas de 0.04g durante el proceso de tamizaje.

**Tabla 15.** Masa retenida por tamiz

Número de malla	Abertura (mm)	Masa retenida no acumulada (g)	% masa retenida diferencial
4	4.780	222.5	28.95%
10	2.000	114.2	14.86%
20	0.850	293.0	38.12%
40	0.425	71.0	9.24%
60	0.250	24.5	3.19%
Fondos	-----	43.4	5.64%
Total	-----	768.6	-----

**Fuente:** elaboración propia.

El mayor porcentaje de masa lo retenía el tamiz de malla 20 con abertura de 0.850 mm como lo muestra de igual manera la **Imagen 23**. Con base en esto y al artículo de Daniel Belchior<sup>78</sup> que nombra que para mejorar la dispersión de la mezcla se agrega aserrín resultante del tamaño de malla 20, se determinó que este tamiz sería el que proporcionaría la dimensión de partícula de aserrín más grande para el aglomerado, eliminando así los tamices con aberturas más amplias.

<sup>78</sup> Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites. Composites Part B: Engineering. Rocha, D. B., & Rosa, D. dos S. (2019).

**Imagen 23.** Distribución de la masa inicial de aserrín.



**Fuente:** elaboración propia.

**3.4.1.3 Elección de resinas.** Las resinas empleadas en los materiales compuestos poseen características en común como la estabilidad térmica, resistencia química además de su economía, las más nombradas son la resina de poliéster, la resina fenólica, la resina epoxica y la resina de alcohol polivinílico.

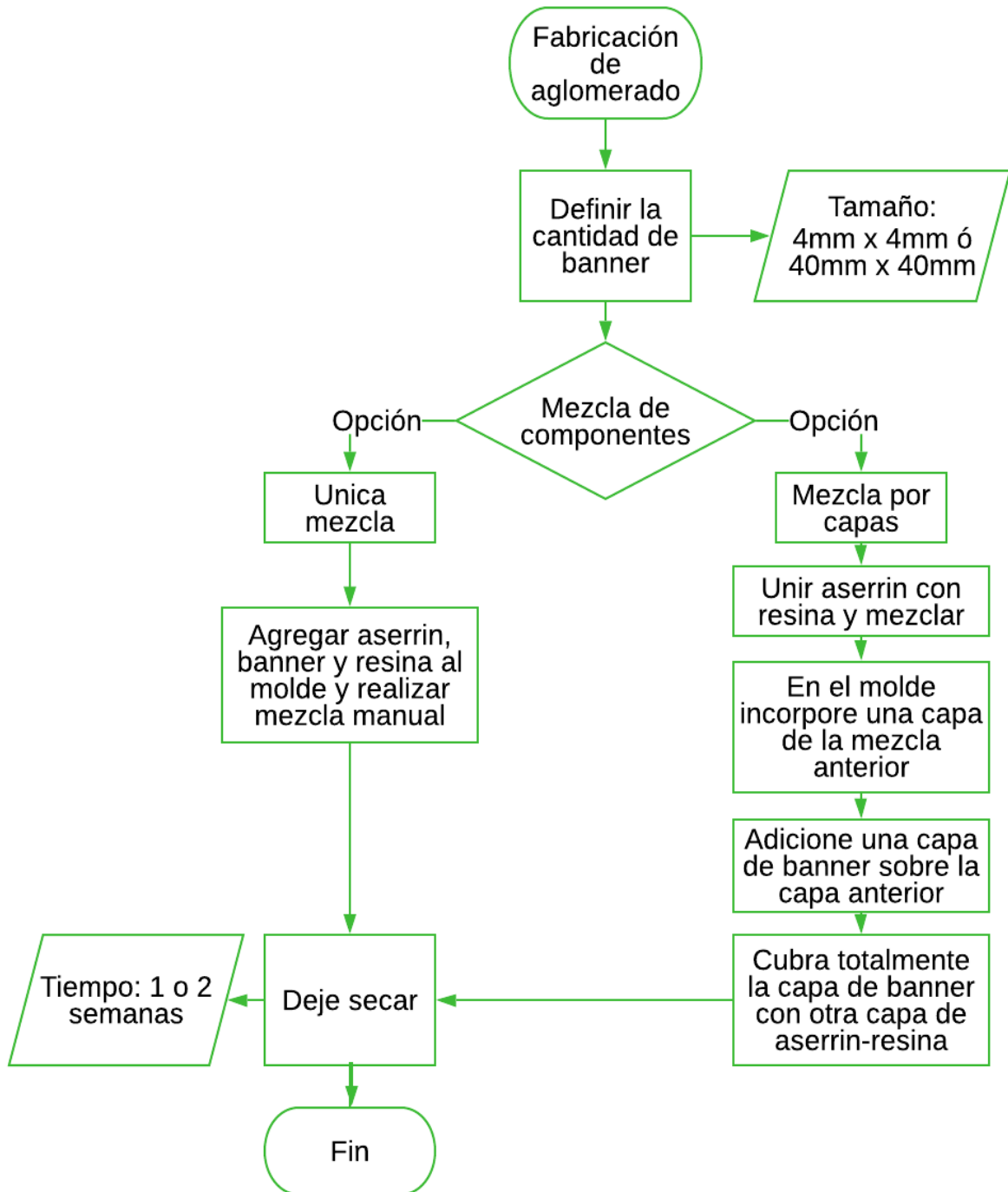
Para la fabricación de los aglomerados se hace uso de la resina de poliéster y la resina de alcohol polivinílico dado que comparten características como tiempo de curado rápido, buena relación de calidad-precio, además de su resistencia a las altas temperaturas; características que eran necesarias para poder realizar el aglomerado en un tiempo óptimo y con el uso de una resina que soportará las condiciones a las que sería sometida junto con el aglomerado sin cambiar sus propiedades<sup>79</sup>.

**3.4.2 Ejecución de la propuesta.** Una vez establecidas las propiedades de la materia prima para la fabricación del aglomerado se siguió el procedimiento mostrado en el **Diagrama 4**, donde se diferenció entre dos tipos de mezcla de los componentes principales con el fin de evaluar qué tipo de unión presentaría las mejores características físicas.

---

<sup>79</sup> M. OLIVARES. características y aplicaciones en la edificación. EN: LOS COMPOSITES s.f

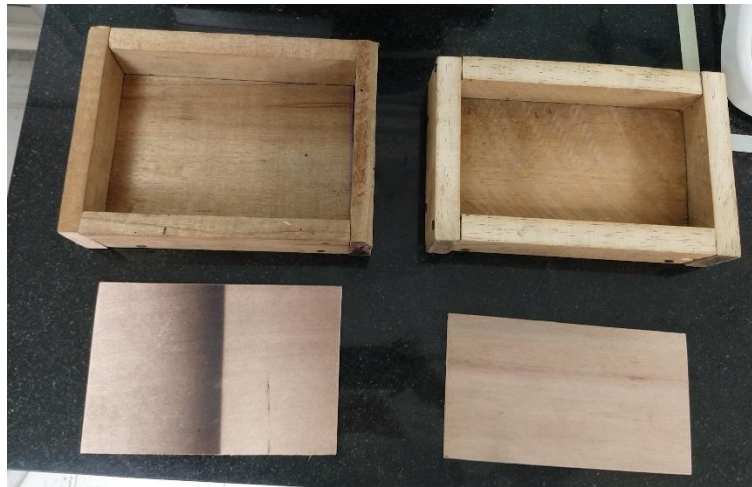
**Diagrama 4.** Esquema de flujo, fabricación de aglomerados.



**Fuente:** BUITRAGO, Braian.; HENAO, Angela.; AYALA, Orlando.; MEJIA, Poseidon .  
Tableros de partículas de polvillo de aserrín reforzados con subproductos reciclados (TAR).  
En : sena centro tecnológico de mobiliario.octubre ,2012 pag 84-92

Se inició adecuando el banner al tamaño de partícula a utilizar reduciendo sus dimensiones recortándolo en trozos manualmente, posterior a esto se juntó dicho banner al aserrín y se aglomeraron con los dos tipos de resina, unión que se realizó en los moldes mostrados en la **Imagen 24**; para compactar los aglomerados se calentaron a 130°C en la mufla y se les colocó un peso de 17kg aproximadamente. Seguidamente se dejaron secar durante 6 días a temperatura y humedad relativa ambiente que se encontraban a 23.1°C y 58% en promedio respectivamente, para luego ser desmoldados y secados por otros 10 días.

**Imagen 24.** Moldes para fabricación de aglomerados



**Fuente:** elaboración propia.

Se decidió realizar cinco tipos de aglomerados donde se variaron el tamaño de partícula del polímero, la proporción del mismo con respecto a la cantidad de aserrín agregada y la forma en que fueron mezclados los componentes, manteniendo invariables los gramos de alcohol polivinílico y de la resina poliéster con el fin de evaluar que aglomerado presentaba una mayor resistencia al ser sometido a pruebas mecánicas; los pesos tomados para cada tipo de aglomerado se muestran en la **Tabla 16**.

**Tabla 16.** Diferenciación entre los tipos de aglomerados

<b>Componente</b>	<b>Aglomerado</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Tamaño de partículas de banner (mm)	40	4	4	4	4
Masa de aserrín (g)	52,5	52,5	52,5	21	73,5
Masa de banner (g)	52,5	52,5	52,5	84	31,5
Gramos de alcohol polivinílico (g)	120	120	120	120	120
Gramos de resina poliéster (g)	119	119	119	119	119

**Fuente:** elaboración propia.

Las proporciones de plástico y aserrín fueron tomadas del desarrollo de un material compuesto exhibido por parte de la Universidad nacional autónoma de México<sup>80</sup> pero en lugar de usar polipropileno, se hizo uso del PVC y del PET presentes en el banner. La proporción de resinas permaneció invariable en una relación del 50/50 entre ellas para únicamente enfocar los resultados a las propiedades conferidas por el banner al material y finalmente el tamaño de partícula del plástico debía ser mínimo para mejorar la cohesión de los materiales así que se estableció solo variar en una oportunidad el tamaño a uno mayor manteniendo la proporción plástico-aserrín y evaluar si se presentaba un cambio notorio en las propiedades físicas.

Como se observa en la tabla mostrada anteriormente los aglomerados 1 y 2 se diferencian entre sí por el tamaño de banner utilizado como se muestra en la **Imagen 25**, así mismo estos dos primeros aglomerados varían de los otros tres en que en su adición de materia prima el polímero se añadió en una única capa ubicada al medio de dos de aserrín, contrario a los otros tres aglomerados donde los componentes se mezclaron de forma que hubiese distribución uniforme del polímero en el aglomerado. Las proporciones aserrín- banner se realizaron de la siguiente manera:

- Aglomerado 1: 50% aserrín- 50% banner
- Aglomerado 2: 50% aserrín- 50% banner
- Aglomerado 3: 50% aserrín- 50% banner
- Aglomerado 4: 20% aserrín- 80% banner
- Aglomerado 5: 70% aserrín- 30% banner

**Imagen 25.** Distinción del tamaño de banner utilizado en los aglomerados 1 y 2.



**Fuente:** elaboración propia.

<sup>80</sup> RESEARCHGATE. Desarrollo de un material compuesto de plástico y madera aserrín. [en línea]. [consultado el 17 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/280741167>

Posterior a esto se colocó una capa de fórmica en cada cara de los aglomerados sujetas con pegamento PL 285, esto se realizó con el fin de darle a los aglomerados un aspecto más uniforme y acercarlos a los que son puestos a la venta a nivel comercial; los resultados se pueden observar en la **Imagen 26**.

**Imagen 26.** Muestra de resultado final de los aglomerados elaborados.



**Fuente:** elaboración propia.

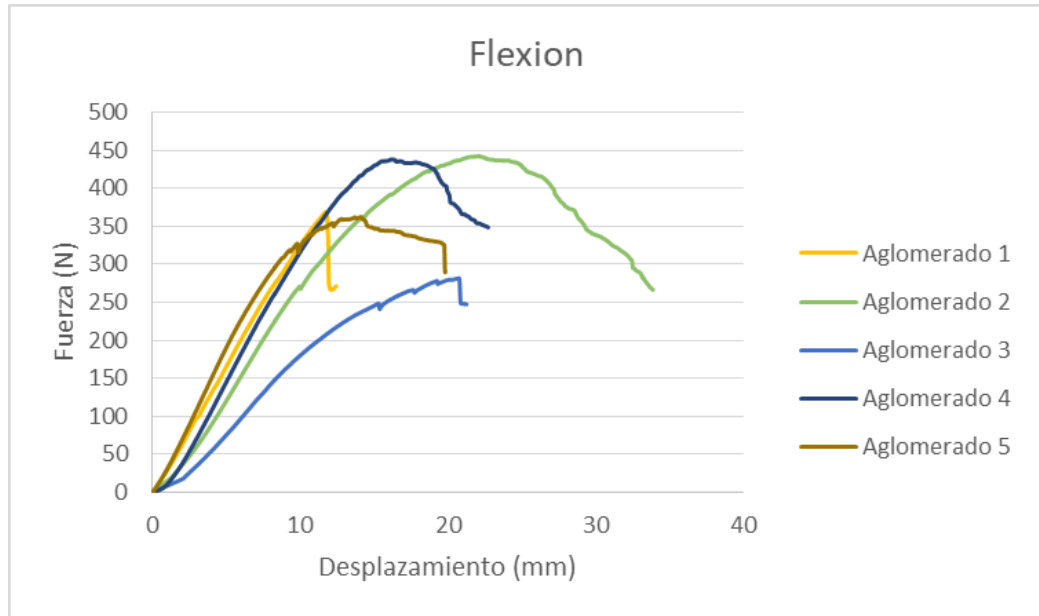
**3.4.3 Caracterización material resultante.** Como se mencionó anteriormente, entre los cinco aglomerados se definió cuál presentaba las mejores propiedades realizando una caracterización física dividida en dos partes, en la primera se evaluaba la flexión de cada uno y en la segunda la absorción de agua.

**3.4.3.1 Flexión.** Con la maquina universal de medida de la Universidad de América fue posible determinar la flexión de cada uno de los aglomerados, donde con base a las características en común se compararán los valores arrojados. La prueba se realizó a los cinco aglomerados previamente cortados con dimensiones iguales de 10cm x 4cm y de 14cm x 10cm cada uno, observando su cambio de flexión a una velocidad de deformación de 15mm/min.<sup>81</sup> Los resultados de flexión para los aglomerados con dimensiones de 10cm x 4cm son mostrado en la **Gráfica 16** y en la **Tabla 17** se muestran las fuerzas empleadas en la flexión de cada muestra, los demás resultados se encontrarán adjuntos en el **Anexo K**.

---

<sup>81</sup> CASTRO,Diego. ASTM D1037-12 - Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials . en: ASTM designation. 2006 pag 1-16

**Gráfica 16.** Flexión de aglomerados con dimensiones de 10cm x 4cm.



**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 17.** Fuerzas empleadas en la flexión de los aglomerados.

Aglomerado	Espesor (mm)	Resistencia a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )
1	31,40	0,43142
2	32,30	2,57214
3	20,12	9,4863
4	23,54	2,53488
5	23,16	1,30739

**Fuente:** elaboración propia.

En la gráfica se observa que la mayor fuerza aplicada para flexionar el aglomerado fue ejercida sobre el aglomerado número dos, pero dado que no todos presentaban el mismo espesor, siendo esta una variable que modifica los resultados, se tabularon los datos de resistencia a la flexión en N/mm<sup>2</sup> que fueron calculados por el programa considerando las dimensiones de las muestras y otorgándole validez a los datos obteniendo así al aglomerado 3 como aquel que obtuvo mayor resistencia a la flexión.

Con los resultados obtenidos en la tabla es posible comparar los aglomerados que posean características en común y analizar porque los resultados difieren uno del otro; este paralelo de aglomerados se mostrará a continuación mencionando que característica comparten y en cual difieren.

- **Mezcla por capas, diferentes tamaños de partícula del banner.** Los aglomerados a comparar en esta categoría son el 1 y el 2 puesto que su diferencia es el tamaño de partícula del banner que va de 40 mm<sup>2</sup> a 4mm<sup>2</sup> respectivamente. Se concluye que al aglomerado 1 posee menor resistencia a la flexión y que emplear en este un tamaño de partícula mayor no le aporato resistencia, siendo mayor la resistencia obtenida para el aglomerado 2.
- **Misma composición, diferentes tipos de mezclado.** Para la comparación de esta categoría se tienen los aglomerados 2 y 3 que difieren en su estructura al ser uno fabricado en mezcla por capas y el otro en mezcla única respectivamente. Como se evidencia en la **Tabla 17**, el aglomerado 2 presenta una resistencia menor de flexión que el aglomerado 3, deduciendo así que es mejor fabricar el aglomerado con el procedimiento de única mezcla.
- **Proporción de banner y de aserrín.** Para evaluar esta condición se tomaron los aglomerados 4 y 5 que son fabricados en una mezcla única pero que difieren en que el aglomerado 4 posee mayor proporción de banner en su estructura y por el contrario el aglomerado 5 posee mayor cantidad de aserrín. Por una notaría diferencia al aglomerado 4 hay que imprimirle mayor fuerza para flexionarlo, mostrando así que la inclusión de materiales poliméricos mejora las propiedades físicas de los materiales compuestos como lo es el aglomerado.

**3.4.3.2 Absorción de agua.** La prueba se ejecutó con base a la norma ASTM D1037-12<sup>82</sup> que evalúa la propiedad de absorción de agua e hinchazón de espesor en paneles duros de fibra a base de madera. El análisis consistió en sumergir los aglomerados en 150 ml de agua para medir su cambio espesor con un calibrador al dejarlos reposar por 2 horas y de igual manera después de 24 horas. La cantidad de agua absorbida se midió calculando la diferencia de volúmenes del recipiente donde se agregó el agua después de pasados los dos tiempos establecidos. <sup>82</sup>

---

<sup>82</sup> BUITRAGO. Op.sit.,p.90.



**Tabla 18.** Cantidad de agua absorbida por los distintos aglomerados.

Muestra	Espesor inicial (mm)	Espesor después de 2h (mm)	Espesor después de 24h (mm)	Cantidad de agua absorbida después de 2h (ml)	Cantidad de agua absorbida después de 24h (ml)	Porcentaje de agua absorbida después de 24h (ml)
1	31,40	31,52	31,87	13	14,5	9.67%
2	32,30	32,43	32,79	25	33,4	22.27%
3	20,12	20,25	20,61	20	23,2	15.47%
4	23,54	23,63	23,89	21	44,5	29.67%
5	23,16	23,25	23,51	37	61,4	40.93%

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla anterior en la última columna se muestra el porcentaje de agua absorbida por los aglomerados, obteniendo todos valores menores al máximo permitido por la norma que es del 60%. Cabe resaltar que los porcentajes mencionados son menores cuando la cantidad de espacios vacíos entre partículas y resina es menor, siendo dicha absorción una propiedad inversa a la compresibilidad presentada en los aglomerados que permite establecer si el producto fabricado puede o no permanecer en una exposición prolongada a la humedad sin dañar sus características físico-mecánicas<sup>83</sup>

### 3.5 CONDICIONES TECNICAS DEL PROCESO ESCALADO

Una vez elaborada la propuesta a nivel laboratorio, se realizará el diseño de proceso, teniendo en cuenta para esto la cantidad de banner a procesar; de igual manera se tendrán en cuenta los reactivos empleados y las variables de proceso que afectan los mismos a presión atmosférica. Para esto se plantea una línea de producción que cumpla con los requerimientos para el proceso.

<sup>83</sup> RANGEL, Leidig.; MORENO, Pablo.; TREJO, Shakespeare.; VALERO, Styles. PROPIEDADES DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FABRICADOS CON MADERA DE Eucalyptus urophylla. En: madera ciencia y tecnología. Abril, 2017, pag 373-386

**3.5.1 Cantidad de residuo a procesar.** Para el proceso de selección de la cantidad de residuo a procesar se consultó en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) la cantidad de banner vendido y se encontró que no existía un referente específico para este, por lo que se optó por buscar un artículo registrado que cumpliera con las especificaciones del banner. El artículo registrado tomado como referencia fue “tela de material plástico”, en este se hace referencia a materiales como laminas películas, telas soportadas o conjuntos de materiales <sup>84</sup> la cantidad de artículos vendidos que registra el DANE para el año 2007 (último registro que en él se encuentra) para este producto, corresponde a 11 364 495 unidades en Colombia <sup>85</sup>Debido a que la encuesta anual manufacturera registra datos hasta el año 2007 y estos presentan una linealidad, se procede a estimar el valor para el año 2019 siendo este de 26 887 257 unidades, este valor se toma como un referente de residuos generados. Dado que el artículo registrado en el Dane no especifica con claridad el ser valla publicitarias de tipo PVC/PET y si hace referencia a otros materiales como cintas y tiras de plástico se descarta el 70% de las unidades registradas como parte del artículo. En Colombia actualmente se encuentran registrados 837311 <sup>86</sup>establecimientos los cuales se encuentran distribuidos regionalmente como se muestra en la **Gráfica 17**, así mismo en la **Gráfica 18** se encuentran los departamentos con mayor cantidad de empresas.

Puesto que la propuesta de aprovechamiento se establecerá en la ciudad de Bogotá el porcentaje de empresas corresponderá al 33.93 % del total de empresas registradas en Colombia para el año 2017. Por lo que la cantidad de residuo a procesar será de 2 736 853 unidades, tomando como valor de unidad banner de 1 metro x 1 metro como se mencionó en la caracterización previa del material. Ya que el material a procesar es un residuo se toma un porcentaje del 25% teniendo en cuenta que no todo el material registrado en el indicador se encuentra disponible para el tratamiento y que gran parte ha sido llevada a rellenos sanitarios puesto que no existe una cultura de reciclaje de este tipo de material.

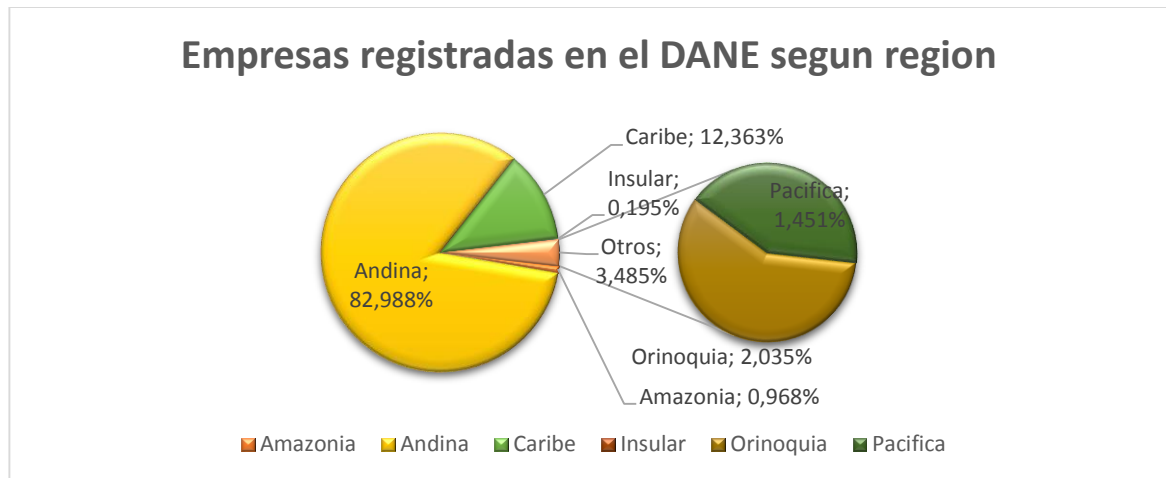
---

<sup>84</sup> DANE. Producción Dane [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en [http://frmweb.dane.gov.co:8001/CPCV2-ViewController-context-root/faces/producto.jspx?\\_adf.ctrl-state=oyeocukaw\\_7](http://frmweb.dane.gov.co:8001/CPCV2-ViewController-context-root/faces/producto.jspx?_adf.ctrl-state=oyeocukaw_7)

<sup>85</sup> FORMULARIOS DANE. Cantidad de empresas en Colombia [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en <http://formularios.dane.gov.co/encuestas/eam/mostrar2.php?Years=2002&cadenabus=&todos=todo&actoper=perso&x=40&y=6>.

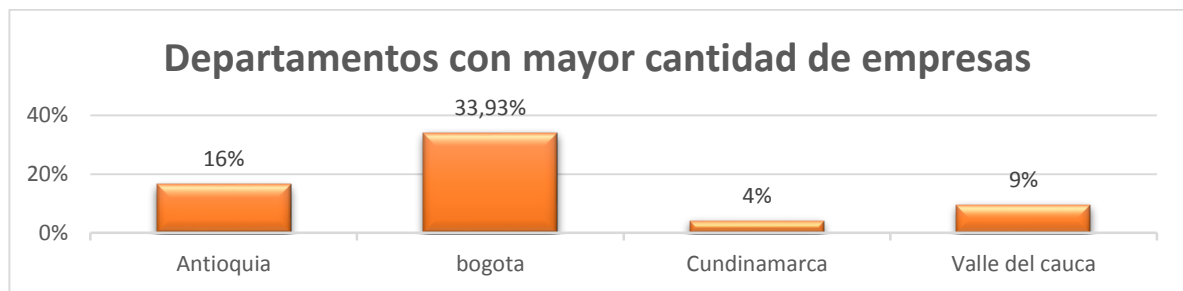
<sup>86</sup> DANE. Encuesta anual manufacturera [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>

**Gráfica 17.** Distribución porcentual de empresas registradas ante en DANE según la región



**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfica 18.** Distribución porcentual de empresas registradas ante en DANE según departamentos con más cantidad de empresas



**Fuente:** elaboración propia.

La cantidad final por procesar es de 679 700 unidades de banner por año, el peso total correspondiente a esta cantidad de unidades es equivalente a 299 068 000 g/año es decir 299,068 toneladas/año.

**3.5.2 Condiciones generales del proceso.** Debido a que el proceso de aprovechamiento se basa en un proceso de recuperación de material post-consumo es necesario considerar algunas condiciones generales como:

- **Separación de material.** Dado que el material proviene de una fuente de reciclaje es primordial realizar una separación manual del mismo, permitiendo así separarlo de otros tipos de polímeros o materiales con los que pueda haberse reciclado.

- **Adecuación de materia prima.** En vista de que el banner al ser vendido presenta soportes u ojete metálicos <sup>87</sup>es preciso realizar la remoción de los mismos de forma manual y ser vendidos como chatarra, antes de entrar al proceso de aprovechamiento
- **Almacenamiento de materia prima.** En el almacenamiento del aserrín se debe controlar la cantidad de humedad puesto que esta puede llegar a afectar las propiedades de la madera al proliferar el crecimiento bacteriano.
- **Servicios.** Puesto que el proceso requiere de servicios básicos de agua para el proceso de limpieza y de energía para los demás procesos es fundamental contar con estos al momento de implementar el proceso.

**3.5.3 Descripción del proceso de aprovechamiento.** El material compuesto tendrá unas proporciones de 50% de polvillo de aserrín de pino y 50% de banner cortado a 4mm x 4mm, a su vez este será mezclado con una proporción de agente aglomerante de 50% resina poliéster y 50% alcohol polivinílico, como se observa en el ítem anterior esta distribución de materias primas corresponde a la mejor resistencia obtenida durante el proceso de fabricación.

El proceso de producción de material compuesto (aglomerado) inicia con la adecuación previa de los residuos de banner, los residuos pasan por un tanque de lavado en donde son quitadas las impurezas tales como polvo o tierra, luego a este material se le realiza la remoción de las partes metálicas las cuales son llevadas a un tanque de almacenamiento para su venta posterior como chatarra.

Una vez realizada la adecuación del banner este es alimentado a un molino el cuál se encargará de reducir el tamaño de partícula a 4mm, de este se obtiene una corriente de salida la cual debe pasar por un proceso de tamizado en donde el material que no cumpla con las especificaciones de tamaño es recirculado al proceso de molienda. Paralelamente a este proceso se realiza la adecuación del polvillo de aserrín de pino este se efectúa alimentando el polvillo a un proceso de tamizado donde se selecciona los tamaños de partícula menores o iguales 850 micras, después de tamizar el polvillo pasa a un horno en donde es calentado a 103° C por 3h para reducir el contenido de humedad.

A continuación los dos materiales pasan a un tanque de mezclado en donde se añade el material aglomerante, en seguida esta mezcla es vertida en un molde de 2.15 X 2.44 metros,este pasa a un proceso de prensado con calentamiento a 130°C ( temperatura a la cual el banner permite ser moldeado) este con el fin de compactar los materias y mejorar la adherencia de banner, luego el material compuesto se deja

---

<sup>87</sup> PRINTU. Banner parte metálica [en línea] [consultado el día 17 de abril 2019]. Disponible en: [https://www.printu.co/pendones?gclid=CjwKCAjw\\_YPnBRBREiwAIP6TJzoMr7T\\_OAADWfGwW0ZjN0aZ\\_26ZvYIsA--x8R6TKFsQJRB7srz81xoCY-oQAvD\\_BwE](https://www.printu.co/pendones?gclid=CjwKCAjw_YPnBRBREiwAIP6TJzoMr7T_OAADWfGwW0ZjN0aZ_26ZvYIsA--x8R6TKFsQJRB7srz81xoCY-oQAvD_BwE)

en una bodega para su almacenamiento en donde se controla el nivel de humedad, en cuanto este reposa en la bodega por 20 días, posterior a esto el materia compuesto es cubierto por ambas caras con fórmica para su acabo final.

En el **Diagrama 5** se representa el proceso anterior mediante un diagrama de bloques. Para la implementación de esta propuesta de aprovechamiento se tomarán las 299,068 toneladas/año de residuo de banner y se calcula la cantidad de residuo diario a procesar teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas al día, 48 horas semanales, este es de 940,04 kg/ día es decir 117,505 kg/h en la **Tabla 19** se muestran las cantidades de materia prima necesaria para procesar la cantidad de residuo de banner diario, los datos empleados a escala laboratorio se encuentran en el **Anexo L** los cuales sirven para llevar el proceso a escala real

**Tabla 19.** Cantidad de materia prima necesaria para procesar el residuo de banner diario

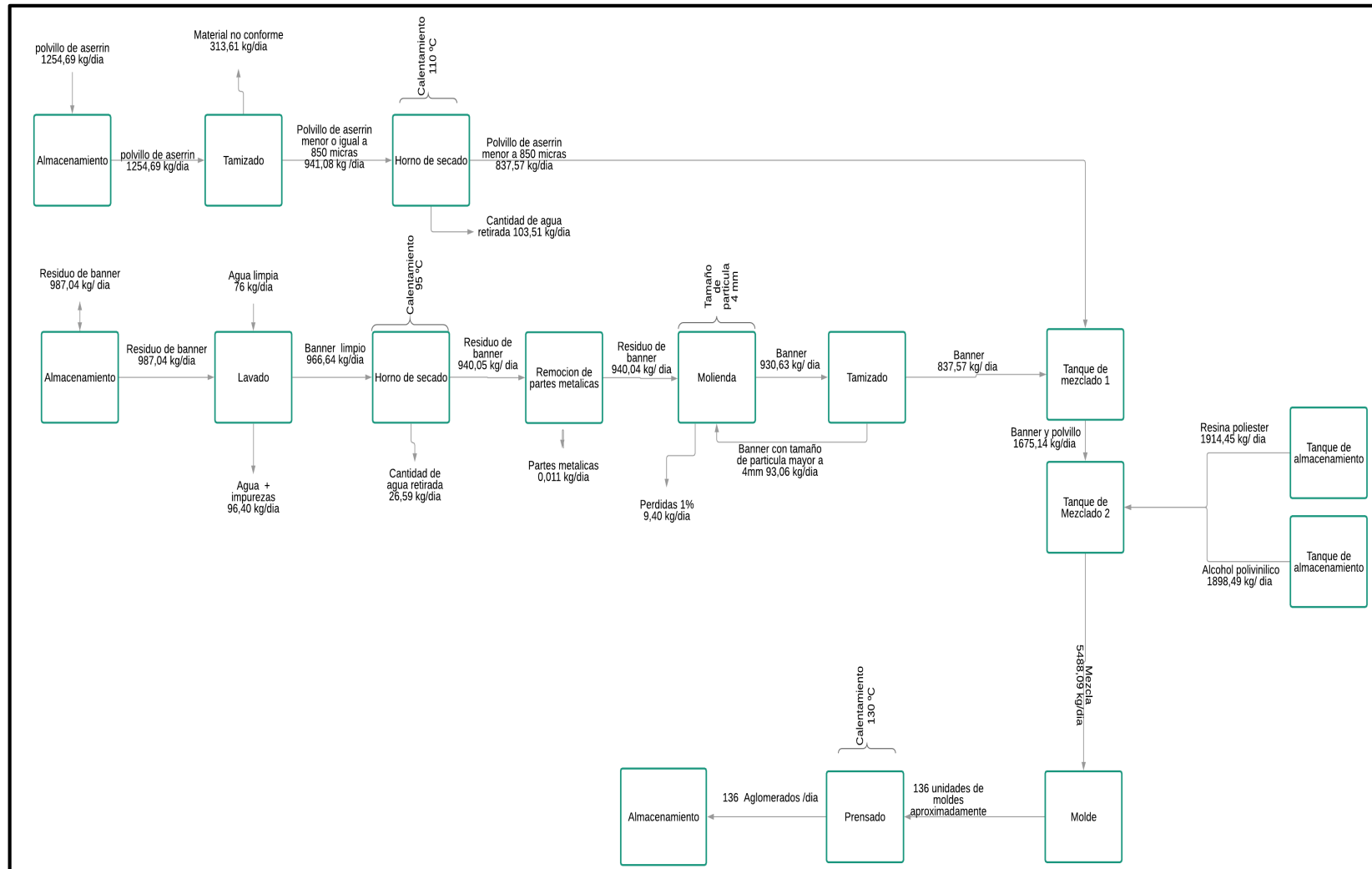
Materia prima	Cantidad (kg)
Banner	940,04
Polvillo de aserrín de pino	1254,69
Resina poliéster	1914,45
Alcohol polivinílico	1848,49

**Fuente:** elaboración propia.

**3.5.4 Escalamiento de la propuesta de aprovechamiento mecánico.** Para llevar a cabo el proceso de fabricación del material compuesto aglomerado se necesitan las siguientes cuatro etapas, donde cada una estará compuesta de operaciones unitarias que permitan un proceso correcto de creación:

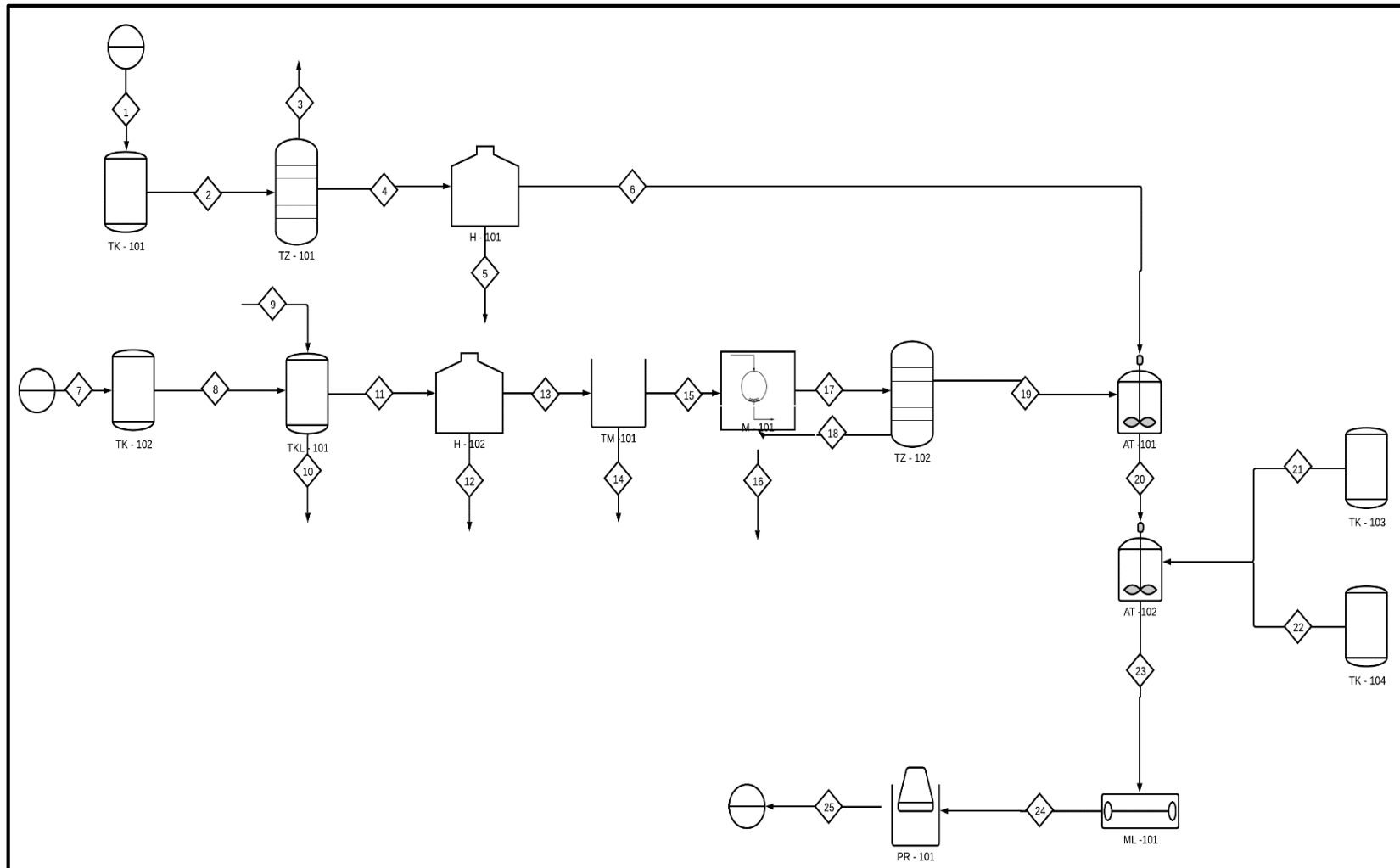
- I. Acondicionamiento del polvillo de aserrín de pino
  - Tamizado
  - Horno de secado
- II. Acondicionamiento del residuo de banner
  - Lavado
  - Remoción manual de partes metálicas
  - Horno de secado
  - Molienda
  - Tamizado
- III. Mezcla de materias primas
- IV. Fabricación del aglomerado
  - Vertimiento en el molde
  - Prensado
  - Almacenamiento

**Diagrama 5. Fabricación de material compuesto.**



Fuente: elaboración propia.

**Diagrama 6.** Proceso de fabricación del material compuesto aglomerado



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 20.** Corrientes del proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado)

<b>Numero de corriente</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo (kg/día)</b>
1	20	1254,69
2	20	1254,69
3	20	313,61
4	20	941,08
5	103	103,51
6	20	837,57
7	20	987,04
8	20	987,04
9	20	76
10	20	96,4
11	20	966,64
12	20	26,59
13	95	940,05
14	20	0,011
15	20	940,04
16	20	9,3
17	20	930,63
18	20	93,06
19	20	837,57
20	20	1675,14
21	20	1914,45
22	20	1898,49
23	20	5488,09
24	20	136
25	130	136 unid.

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 21.** Convenciones del proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado)

**Convenciones de equipos**

TK -101	Tanque de almacenamiento de polvillo de aserrín de pino
TZ -101	Tamizador (850 micras)
H -101	Horno de secado 110 °C
TK -102	Tanque de almacenamiento residuo de banner
TKL -101	Tanque de lavado
H -102	Horno de secado 95 °C
TM -101	Tanque de remoción manual
M -101	Molino de cuchillas (4mm)
TZ -101	Tamizador (4mm)
AT -101	Tanque de mezcla (solidos)



**Tabla 21.** Continuación  
**Convenciones de equipos**

AT -102	Tanque de mezcla
TK - 103	Tanque de almacenamiento de resina poliéster
TK -104	Tanque de almacenamiento alcohol polivinílico
ML - 101	Moldes
PR -101	Prensa hidráulica

**Fuente.** Elaboración propia.

En el **Diagrama 6** se evidencia el proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado) planteado anteriormente, teniendo en cuenta las cantidades y condiciones empleadas en el laboratorio que se muestra en el **Anexo L**; en la **Tabla 20** y **21** se muestran las corrientes del proceso y las convenciones de los equipos. A continuación, se describen cada una de las etapas.

#### **3.5.4.1 Descripción de las etapas del proceso.**

- I. Acondicionamiento del polvillo de aserrín de pino.** Esta etapa consta de dos sub etapas; Tamizado y horno de secado. Estas con el objetivo de preparar el polvillo de aserrín de pino para ser mezclado con el banner y el material aglomerante, llevándolo por un proceso de selección de tamaño de partícula menor o igual a 850 micras y un secado posterior a una temperatura de 110 °C para así disminuir la humedad que presenta el material y evitar la proliferación de vida bacteriana y promover un secado más rápido al final del proceso.
- II. Acondicionamiento del residuo de banner.** Es importante someter el residuo de banner a un proceso de acondicionamiento previo antes de ser mezclado, este proceso consta de cinco etapas; lavado, remoción manual de partes metálicas, horno de secado, molienda y tamizado. Estos con el fin de remover impurezas y seleccionar solo el banner, posteriormente es importante realizar el secado para evitar daños en el molino al momento de realizar la disminución del tamaño a 4mm este último permite que exista una mejor compactación de los materiales.
- III. Mezcla de materias primas.** Una vez realizada la adecuación de las materias primas, estas son llevadas a dos tanques de mezcla; el primero con el fin de mezclar los materiales secos y el segundo con el fin de mezclar todo el material con el material aglomerante y así permitir una buena distribución de las materias primas.
- IV. Fabricación del aglomerado.** Como resultado de la etapa de mezcla se obtiene un material que debe ser vertido en una serie de moldes, los cuales deben pasar a un proceso de prensado con calor a una temperatura de 130°C y son llevados finalmente a un almacén en donde se deben dejar secar por aproximadamente 20 días.

**3.5.4.2 Balances de masa.** A continuación, se procede a realizar un balance de masa en cada una de las operaciones que se llevan a cabo en el proceso de aprovechamiento, empleando la **Ecuación 5**.

**Ecuación 5.** Balance de masa

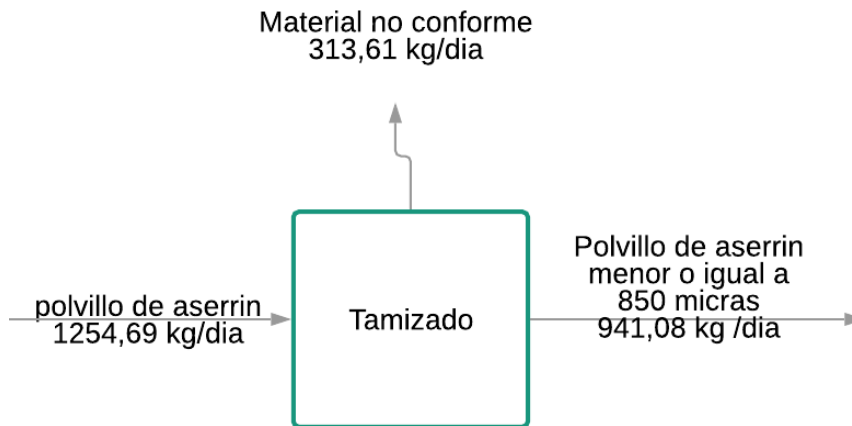
$$Masa_{entra} = Masa_{sale}$$

**Fuente:** INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA. Balance de materia [consultado el 02 de junio 2019]. Disponible en: <http://www.fi.unsj.edu.ar/asignaturas/introing/BalanceDeMasa.pdf>

### I. Acondicionamiento de la materia prima

**A. Tamizado.** Para realizar la selección del polvillo de aserrín de pino con un tamaño de partícula menor o igual a 850µm es necesario emplear una malla 20 en el **Diagrama 7** se muestran las entradas y salidas de sistema.

**Diagrama 7.** Alimentación tamiz



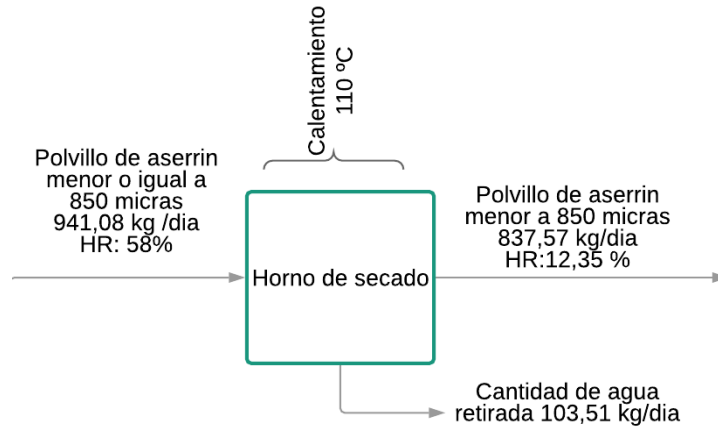
**Fuente:** elaboración propia.

$$1254,69 \frac{\text{kg polvillo aserrin}}{\text{dia}} = 313,61 \frac{\text{kg polvillo no conform}}{\text{dia}} + 942,08 \frac{\text{kg Polvillo aserrin fino}}{\text{dia}}$$

**B. Horno se secado.** A este equipo se alimentan 942,08 kg /día de polvillo de aserrín de pino y es llevado a una temperatura 110 °C por 2 horas efectuado un secado indirecto es decir empleando resistencias eléctricas o placas calientes, este proceso es realizado con el fin de retirar el mayor contenido de humedad del polvillo de aserrín de pino, la cantidad de agua retira en el proceso de secado

corresponde al 8% es decir 103,51 kg/día en el Diagrama 8 se muestra la entrada y salida del horno de secado.

**Diagrama 8.** Horno de secado



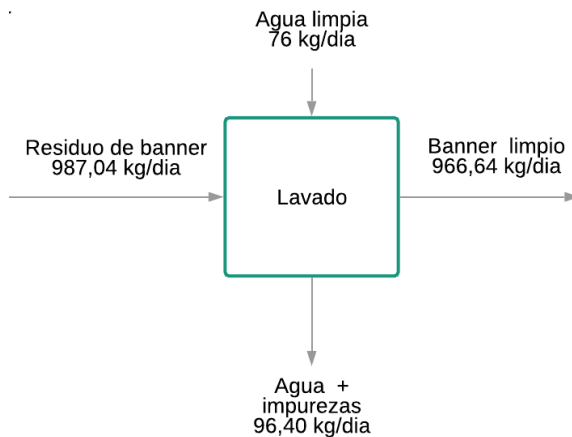
**Fuente:** elaboración propia.

$$941,08 \frac{\text{kg polvillo humedo}}{\text{dia}} = 837,57 \frac{\text{kg polvillo seco}}{\text{dia}} + 103,51 \frac{\text{kg agua retirada}}{\text{dia}}$$

## II. Acondicionamiento del residuo de banner

**A. Lavado.** Para el proceso de lavado se estima que el 5% de la materia prima son impurezas, en el Diagrama 9 se muestran las entrada y salidas del proceso.

**Diagrama 9.** Tanque de lavado



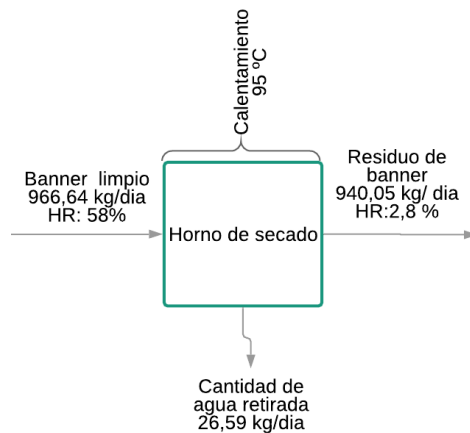
**Fuente:** elaboración propia.

$$987,04 \frac{\text{kg Residuo de banner}}{\text{dia}} + 76 \frac{\text{kg Agua limpia}}{\text{dia}}$$

$$= 96,40 \frac{\text{kg Agua + impurezas}}{\text{dia}} + 966,64 \frac{\text{kg Banner humedo}}{\text{dia}}$$

**B. Horno se secado.** A este equipo se alimentan 966,64 kg /día de banner húmedo y es llevado a una temperatura de 95°C horas efectuado un secado indirecto es decir empleando resistencias eléctricas o placas calientes con el fin de remover el agua que quedo después de la etapa de lavado, la cantidad de agua retirada es de 26.59 kg/día en el **Diagrama 10** se muestra la entrada y salida del horno de secado.

**Diagrama 10.** Horno de secado

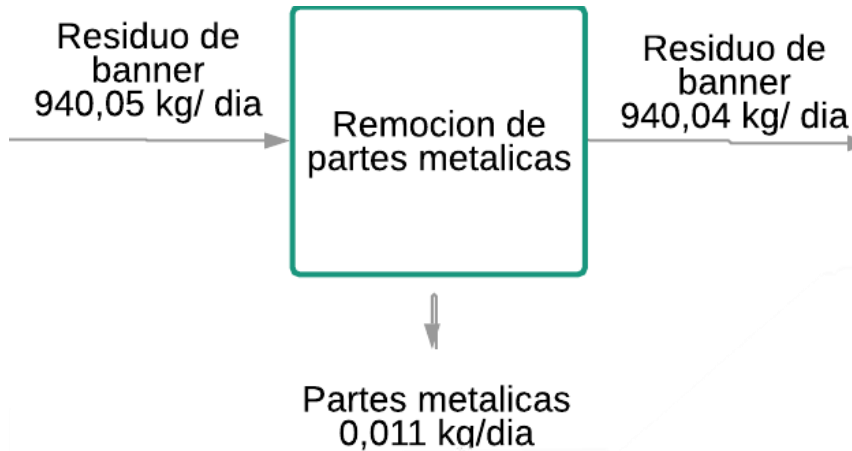


**Fuente:** elaboración propia.

$$966,64 \frac{\text{kg Banner humedo}}{\text{dia}} = 940,05 \frac{\text{kg Banner seco}}{\text{dia}} + 26,59 \frac{\text{kg agua retirada}}{\text{dia}}$$

**C. Remoción manual de partes metálicas.** Para el proceso de remoción de partes metálicas (ojetes) se toma como base de cálculo cuatro ojetes por banner de 1 m<sup>2</sup>. Para la cantidad a procesar se estiman 76 ojetes/día los cuales pesan 0.0114 kg/día esto se muestra en el **Diagrama 11**.

**Diagrama 11.** Remoción manual de partes metálicas.

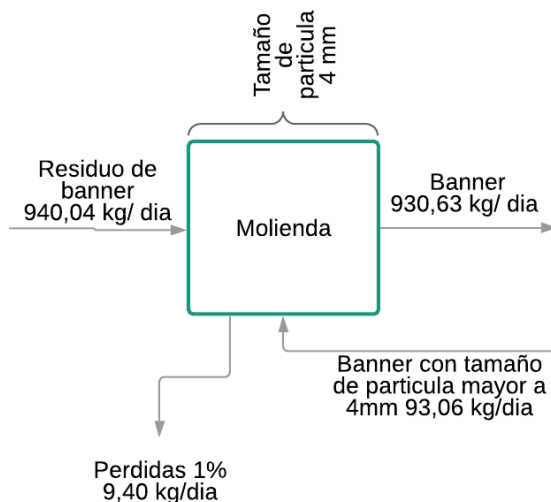


**Fuente:** elaboración propia.

$$940,05 \frac{kg \text{ banner}}{día} = 0,011 \frac{kg \text{ partes metalicas}}{día} + 940,04 \frac{kg \text{ Banner}}{día}$$

**D. Molienda.** A la etapa de molienda es alimentada 940,04 kg /día de banner el cuál pasa por un proceso de disminución de tamaño a 4mm, en donde se estima una pérdida del 1% dada la eficiencia del proceso, el **Diagrama 12** se muestra la entrada y salida de esta etapa.

**Diagrama 12.** Molienda

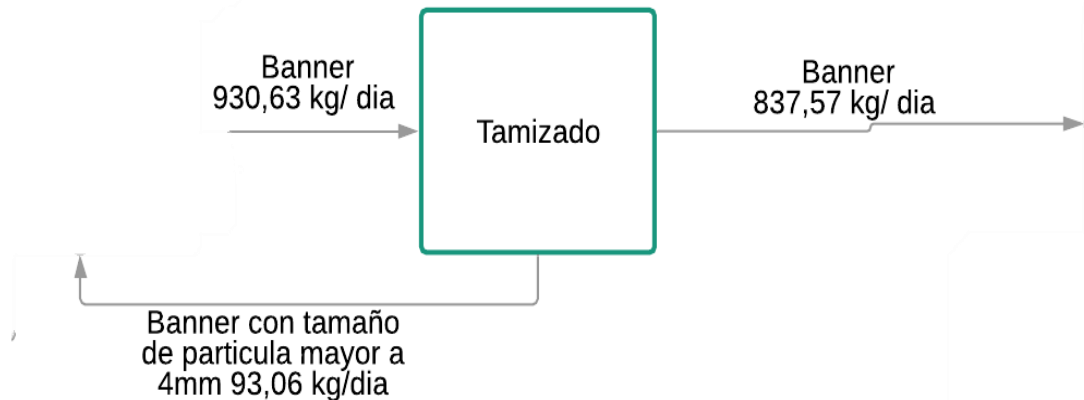


**Fuente:** elaboración propia.

$$940,04 \frac{kg \text{ Banner}}{dia} = 930,63 \frac{kg \text{ Banner } 4mm}{dia} + 9,40 \frac{kg \text{ perdida molino}}{dia}$$

**E. Tamizado.** Para realizar la selección del banner con un tamaño de partícula de 4mm es necesario emplear una malla número 5, debido a que el proceso no es ideal se cuenta con una recirculación al proceso de molienda del material que no cumple con los 4mm o menos en el **Diagrama 13** se muestran las entradas y salidas de sistema.

**Diagrama 13.** Alimentación tamiz

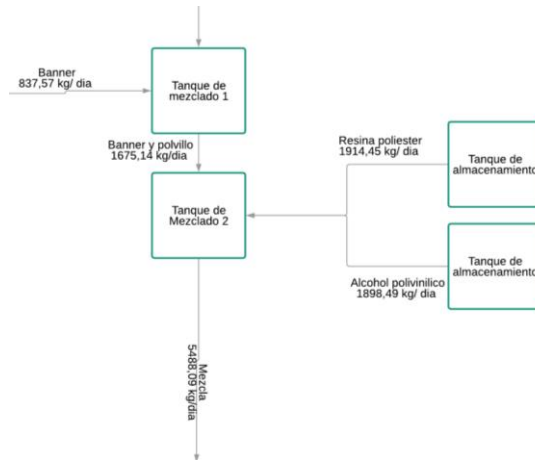


**Fuente:** elaboración propia.

**III. Mezcla de materias primas.** En la etapa de mezclado se alimentan dos tanques. Al primero ingresan 837,57 kg/ día de polvillo de aserrín y 837,57 kg/día de banner estos son mezclados hasta obtener una mezcla homogénea, al segundo tanque de mezclado ingresa 1675,14 kg/día de la mezcla anterior, con 1914,45 kg/día de resina poliéster y 1898,49kg/día de alcohol polivinílico esto es descrito en el **Diagrama 14**.

$$837,57 \frac{kg \text{ polvillo de aserrin}}{dia} + 837,57 \frac{kg \text{ Banner}}{dia} + 1914,45 \frac{kg \text{ Resina poliester}}{dia} + 1898,49 \frac{kg \text{ alcohol polivinilico}}{dia} = 5488,09 \frac{kg \text{ Mezcla para moldear}}{dia}$$

**Diagrama 14.** Etapa de mezcla

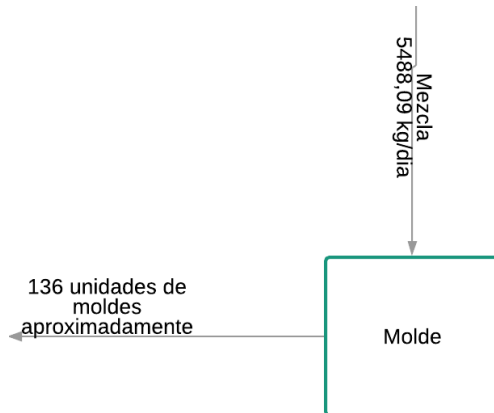


Fuente: elaboración propia.

#### IV. Fabricación del aglomerado.

**A. Vertimiento en el molde.** Para la etapa de llenado del molde se calculan la cantidad de moldes necesarios para suplir la demanda de material mezclado anteriormente, en este caso se tienen 136 moldes cuyas medidas son 2.15 x 2.44 metros, este valor fue calculado empleando la relación de área con respecto a la cantidad de material mezclado empleada en la experimentación en el **Diagrama 15** se evidencia lo anteriormente descrito.

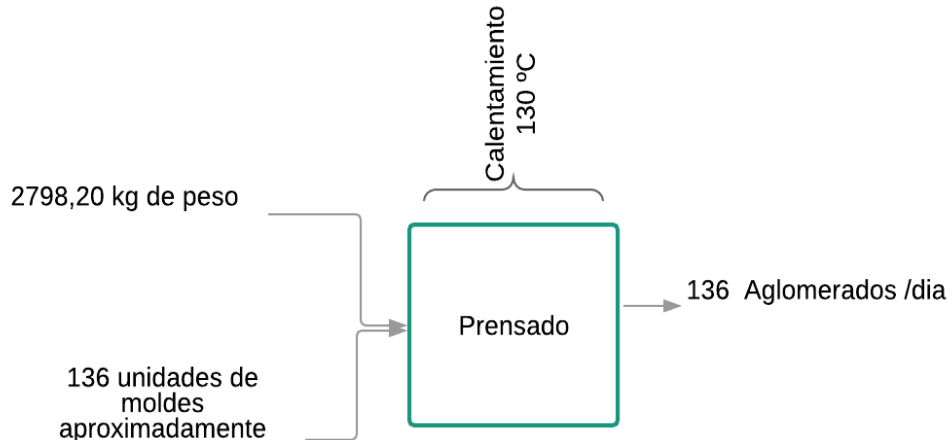
**Diagrama 15.** Vertimiento en los moldes



Fuente: elaboración propia.

**B. Prensado.** El proceso de prensado con calentamiento a 130°C y un peso de 2798.20 kg es alimentado con las 136 unidades/día mediante un proceso discontinuo n donde se prensa cada aglomerado por aparte, en el **Diagrama 16** se muestra la etapa de prensado.

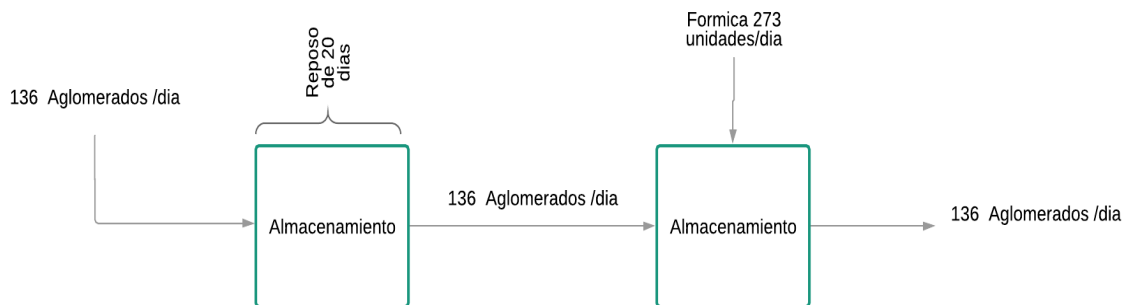
**Diagrama 16.** Etapa de prensado



**Fuente:** elaboración propia.

**C. Almacenamiento.** La etapa final en la fabricación del material compuesto consiste en dejar en reposo por 20 días las 136 unidades/día de aglomerados, para luego recubrirlo con fórmica por ambos lados y posteriormente ser vendido. En el **Diagrama 17** se muestra la etapa final.

**Diagrama 17.** Etapa final



**Fuente:** elaboración propia.

**3.5.4.3 Selección de equipos.** Para la puesta en marcha del proceso de aprovechamiento mecánico mediante la fabricación de un material compuesto (aglomerado), se hace necesario una serie de equipos que satisfagan la demanda de kg por hora descrita en la **Tabla 22**, estos se describen a continuación; el precio reportado de los equipos es un estimado debido a que la pagina muestra rangos de precios dependiendo la capacidad.



**Tabla 22.** Capacidad requerida por hora en los equipos empleados en el proceso

Equipo	Capacidad	
	kg/día	kg/hora
Tanque de almacenamiento (solidos)	1254,69	156,83
Tamizador	1254,69	156,83
Tanque de almacenamiento de material no conforme #2	313,61	39,20
Horno de secado	941,08	117,63
Tanque de almacenamiento (solidos) #3	987,04	123,38
Tanque de lavado	987,04	123,38
Tanque para agua e impurezas	226,5	28,31
Horno de secado #2	966,64	120,83
Molino	940,04	117,50
Tamizador #2	930,63	116,32
Tanque de almacenamiento (molino) #4	93,06	11,63
Tanque de mezclado	1675,14	209,39
Tanque de almacenamiento (líquidos)#2	1914,45	239,30
Tanque de almacenamiento (líquidos) #3	1898,49	237,31
Tanque de mezclado #2	5488,09	686,01
Moldes (unidades /día)	136	17
Prensa (unidades/día)	136	17

**Fuente:** elaboración propia.

## **I. Acondicionamiento del polvillo de aserrín de pino.**

**A. Tamizado (doble cubierta).** Para la selección de este equipo se tuvo en cuenta el tamaño de partícula deseado para el polvillo de aserrín de pino que entra al proceso. Este tamiz es usado en la industria química ya que posee una abertura de 0.074-20mm. En el **Cuadro 2** se muestran las especificaciones del tamizador doble cubierta.

## Cuadro 2. Tamizador doble cubierta



Costo	USD 2000
Capacidad (kg / hora)	200
Potencia requerida (kW)	0,75
Dimensiones (m)	1,16*1,16*1,18

**Fuente:** ALIBABA. Tamizador doble cubierta [Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/200-mesh-double-deck-food-vibration-60464550579.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.71.3ec26dbfA8Kah7>

**B. Horno de secado.** En la selección del horno de secado se tuvo en cuenta el rango de temperatura de funcionamiento del equipo este es de 0- 300 °C. este equipo cuenta con una serie de ventajas como lo son una ventilación mejorada y tablero separados ajustables. El equipo cuenta con 96 bandejas que abarcan la capacidad de 200 kg/h, las dimensiones de las bandejas son (250\*100\*200) cm. En el **Cuadro 3** se muestran las especificaciones del equipo.

## Cuadro 3. Horno de secado



Costo	USD 2100
Capacidad (kg/hora)	200
Potencia requerida (kW)	1,8
Dimensiones (m)	1,56*0,450*1,34

**Fuente:** ALIBABA. Food dhydrating[Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/96-tray-200-kg-food-dehydrating-60655931866.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.81.171667d8O8bedl>

## II. Acondicionamiento del residuo de banner

- A. Lavado.** Para la selección del tanque de lavado se buscó uno que fuera construido especialmente para el procesamiento de plástico y que contara con rodillo para que el área de contacto del proceso de lavado con el banner fuera mayor. Este equipo se muestra en el **Cuadro 4**.

**Cuadro 4.** Tanque de lavado

	
Costo	USD 3000
Capacidad (kg/ hora)	150
Potencia requerida (kW)	7
Dimensiones (m)	6x 1,2 x 1,6

**Fuente:** ALIBABA. floating washing [Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6](https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6)

- B. Remoción manual de partes metálicas.** En el proceso de remoción de partes metálicas no se contará con un equipo específico, pues este será realizado de forma manual y solo se tendrá en cuenta la mano de obra.
- C. Horno de secado.** Para el proceso de secado del banner se empleará un horno de secado con las mismas especificaciones que el horno de secado del polvillo de aserrín de pino, debido a que el flujo de material por hora se encuentra dentro del rango de la operación del equipo estas especificaciones son mostradas en el **Cuadro 3**.
- D. Molienda.** El equipo de molienda seleccionado es un molino de cuchillas especial para plásticos, en donde se especifica que puede ser usado para PVC y PE, este equipo permite un tamaño de partícula que se encuentra entre el rango necesitado para el proceso. En el **Cuadro 5** se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

### Cuadro 5. Molino especial para plásticos



Costo	USD 9000
Capacidad (kg/hora)	120
Potencia requerida (kW)	37
Dimensiones (m)	3 x 2,8 x 3,9

**Fuente.** ALIBABA. Plastic recycling pulverizer [Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Plastic-recycling-pulverizer-recycled-plastic-pellet-1553330573.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.10.26fd6310MnigzV&s=p>

- E. Tamizado (línea vibratoria).** El criterio de selección de este equipo se basa en que garantiza un tamaño de partícula de 4 mm ya que permite usar un tamaño de malla de 3- 6 mm. Este tamizador cuenta con una fuerza vibratoria fuerte, una línea flujo larga y una estructura firme y duradera. En el **Cuadro 6** se muestran las especificaciones del equipo.

### Cuadro 6. Tamizadora línea vibratoria




Costo	USD 500
Capacidad (kg / hora)	120
Potencia requerida (kW)	0,5
Dimensiones (m)	1,35*0,7*1,25

**Fuente:** ALIBABA. Linear vibrating screen [Consultado el 5 de julio del año 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/linear-vibrating-screen-sieve-60102106501.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.12b4734cfsXbqk&s=p>

- V. Mezcla de materias primas.** Para la selección de los tanques de mezclado de las materias primas se tuvo en cuenta el material que para este caso fue

polipropileno de igual forma se tuvo en cuenta la capacidad de ellos en el **Cuadro 7** se muestran las especificaciones técnicas de los dos equipos.

**Cuadro 7.** Tanque de mezclado



Costo	USD 4100	USD 4520
Capacidad (kg/hora)	210	700
Potencia requerida (kW)	0,80	1,03
Dimensiones (m)	2,94 x 2,766 x 4,386	2,94 x 2,766x 8,386

**Fuente:** ALIBABA. Mixing tank agitator. [Consultado el 5 de julio 2019]<https://spanish.alibaba.com/product-detail/PP-Mixing-Tank-with-Agitator-Blending-60800821446.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.6f62188chKXILI&s=p>

**VI. Fabricación del aglomerado.**

- A. Vertimiento en el molde.** Para la construcción de los moldes de 2.15 m x 2.44m se consultó en una carpintería ubicada en el siete de agosto en la ciudad de Bogotá con nombre FABRICA DE MOLDURAS Y BOLILLOS, el costo de la fabricación de estos moldes y se estimó el valor en 250.000 pesos colombianos por cada molde.
- B. Prensado.** Debido a las dimensiones de los moldes se consultó el precio en línea de una prensa hidráulica con calor que cumpliera con las toneladas requeridas estas especificaciones se muestran en el **Cuadro 8**.


### Cuadro 8. Prensa hidráulica

	
Costo	USD 20000
Potencia requerida (kW)	28
Dimensiones (m)	2,2 x 2,7 x 3,5

**Fuente:** ALIBABA. CUSTOM DESIGN HYDRAULIC [Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Custom-Design-Hydraulic-Presses-60788139193.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.34.60c853a8SB9ztE>


**V. Tanques de almacenamiento.** Para la selección del tanque de almacenamiento se tuvo en cuenta una capacidad estándar para todos siendo este el único equipo que se cuenta con la capacidad diaria requerida, igualmente el material del tanque de almacenamiento debe ser acero inoxidable. En el **Cuadro 9** se muestra las especificaciones para los compuestos líquidos de los cuales se requieren 3 y en el **Cuadro 10** se muestran para los materiales sólidos de los cuales se requieren 4.

### Cuadro 9. Tanque de almacenamiento (líquidos)

	
Costo	USD 5400
Capacidad (kg/día)	2000
Dimensiones (m)	2,316 x 8,066

**Fuente.** ALIBABA. Tanque de almacenamiento [Consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: [https://www.alibaba.com/product-detail/15-M3-Tanque-de-almacenamiento-de\\_60245810730.html?spm=a2700.7724838.2017115.68.3fc038118MN0B0](https://www.alibaba.com/product-detail/15-M3-Tanque-de-almacenamiento-de_60245810730.html?spm=a2700.7724838.2017115.68.3fc038118MN0B0)

**Cuadro 10.** Tanque de almacenamiento (solidos)

	
Costo	USD 711
Capacidad (kg/día)	2000
Dimensiones (m)	1,83 x 2,15

**Fuente:** ALIBABA. Steel feed tower silo [Consultado el 5 de julio del año 2019]. Disponible en: [https://www.alibaba.com/product-detail/Steel-feed-tower-silo-for-pig\\_60607764439.html?spm=a2700.7724838.2017115.44.7eb75d55w3UXTq&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Steel-feed-tower-silo-for-pig_60607764439.html?spm=a2700.7724838.2017115.44.7eb75d55w3UXTq&s=p)

**3.5.4.4 Balance de energía.** Una vez realizada la selección de equipos se procede a calcular la energía necesaria para el proceso, esto se realiza empleando **Ecuación 6**, teniendo en cuenta que para los equipos seleccionados se desprecia la energía potencial, cinética e interna. En la **Tabla 23** se muestran los datos calculados para cada equipo.

**Ecuación 6.** Balance de energía

$$Q - W = \cancel{\Delta U} + \cancel{\Delta P} + \cancel{\Delta K}$$
$$Q = W \quad [kJ/s]$$

**Fuente.** Fundamentos de termodinámica técnica. Michael J. Moran, Howard N. Shapiro Pág. 60 -61 (2005)

La energía necesaria para llevar a cabo el proceso para un lote de 156,83 kg/h es de 317373 kJ usando como factor multiplicador el tiempo de operación en segundos por equipo, Como se muestra en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.** Energía requerida por lote para cada equipo

Equipo	Potencia requerida (kW)	Tiempo de operación(s)	Energía necesaria (kJ)
Tamizador doble cubierta <sup>88</sup>	0,75	900	675
Horno secador 1 <sup>89</sup>	1,8	10800	19440
Tanque de lavado <sup>90</sup>	7	900	6300
Horno secador 2 <sup>83</sup>	1,8	7200	12960
Molino <sup>91</sup>	37	6000	222000
Tamizador línea vibratoria <sup>92</sup>	0,5	900	450
Tanque de mezclado 1 <sup>93</sup>	0,8	1800	1440
Tanque de mezclado 2 <sup>80</sup>	1,03	3600	3708
Prensa hidráulica <sup>94</sup>	28	1800	50400
<b>Energía total:</b>			<b>317373</b>

**Fuente:** elaboración propia.

<sup>88</sup> ALIBABA tamiz doble cubierta. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/200-mesh-double-deck-food-vibration-60464550579.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.71.3ec26dbfA8Kah7>

<sup>89</sup> ALIBABA horno de secado. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/96-tray-200-kg-food-dehydrating-60655931866.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.81.171667d8O8bedl>

<sup>90</sup> ALIBABA tanque de lavado. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019] Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6](https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6)

<sup>91</sup> ALIBABA molino. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Plastic-recycling-pulverizer-recycled-plastic-pellet-1553330573.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.10.26fd6310MnigzV&s=p>

<sup>92</sup> ALIBABA tamiz línea vibratoria. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/linear-vibrating-screen-sieve-60102106501.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.12b4734cfsXbqk&s=p>

<sup>93</sup> ALIBABA tanque de mezcla. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/PP-Mixing-Tank-with-Agitator-Blending-60800821446.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.6f62188chKXILI&s=p>

<sup>94</sup> ALIBABA prensa hidráulica. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Custom-Design-Hydraulic-Presses-60788139193.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.34.60c853a8SB9ztE>



**3.5.4.5 Distribución de planta.** En el **Plano 1** se representa la planta de aprovechamiento mecánico, en la cual se identifica la ubicación de las etapas de recuperación y las operaciones unitarias más importantes del proceso.

Las áreas encerradas en línea punteada hacen referencia a las diferentes etapas del proceso estas son:

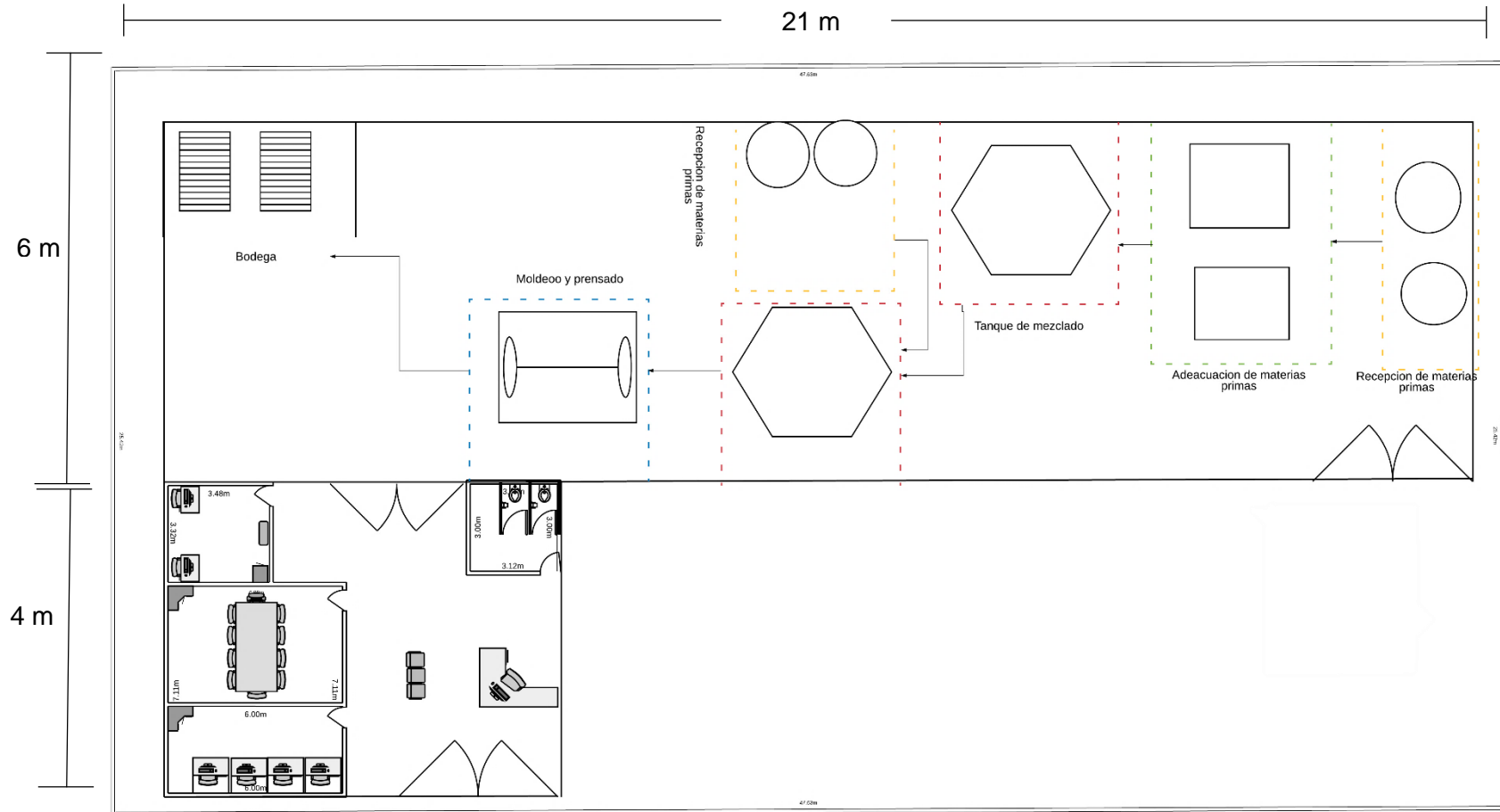
- Línea punteada amarilla: hace referencia al área de almacenamiento y recepción de materia prima, por la dimensión de los equipos seleccionados esta área es de 85,61 m<sup>2</sup>
- Línea punteada verde. Esta hace referencia al área de adecuación de las materias primas y abarca un área total de 27,80 m<sup>2</sup>
- Línea punteada roja: hace referencia al área de mezcla esta área es de 8,13 m<sup>2</sup>
- Línea punteada azul. Esta hace referencia al área de prensado y moldeo esta tiene un área de 5,94 m<sup>2</sup>
- Finalmente, el área administrativa de la planta corresponde a un 15 % del área designada a el proceso, para un área total de 210 m<sup>2</sup>

### **3.6 CONCLUSIONES**

Como conclusión de este capítulo se establece que la elaboración del aglomerado representa una buena alternativa de aprovechamiento al hacer uso de dos residuos de la industria como lo es el aserrín y el banner.

Se comprobó que cuando este es sometido a las pruebas mecánicas definidas por las normas ASTM para aglomerados comunes cumple con las características establecidas para el mismo, además de que se logró comprobar que el adicionarle banner al aglomerado mejoro su resistencia a la flexión, incrementando la misma cuando el tamaño de partícula del banner tiene dimensiones de 40 mm<sup>2</sup>. Igualmente se establece que fabricar un aglomerado por adición de capas o con mayor presencia de banner aumenta su resistencia y es necesario ejercer mayor fuerza para quebrar dicho producto.

**Plano 1.** Planta proceso de producción fabricación de material compuesto (aglomerado).



**Fuente:** elaboración propia

## 4. PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO

Como alternativa de aprovechamiento se evalúa la posibilidad de realizar un aprovechamiento químico cuyo producto final tenga un valor adquisitivo. A continuación, se muestra una búsqueda bibliográfica en donde se plantean las diversas alternativas de reciclaje químico y se realiza la selección de una de ellas para posteriormente llevar el proceso a escala.

### 4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA MÉTODO QUÍMICO

En la selección del método químico de aprovechamiento se evaluaron nueve procesos de recuperación del banner teniendo en cuenta la búsqueda bibliográfica de los mismos, mostrando la ventaja de obtener materias primas que posteriormente pudiesen ser usadas para producir materiales con distintas propiedades. En la presente se contextualizan los procedimientos encontrados, clasificados a su vez en las tres categorías de reciclaje químico, para dar cumplimiento al segundo objetivo planteado para esta investigación:

**4.1.1 Solvólisis.** En esta categoría se precisan dos procesos principales donde se hace uso de un disolvente que actúa como reactivo al ser incorporado sobre el material a reciclar.

- **Glicólisis.** En primera instancia se tiene el proceso de glicolisis, usado sobre el PET desde que fue patentado hace más de treinta años; en esta reacción se hace uso del etilenglicol que promueve la formación de BHET, monómero conocido como tereftalato de bis(2-hidroxietileno), a partir de la despolimerización de PET en presencia de un catalizador de esterificación<sup>95</sup>. El empleo de este método de aprovechamiento se comenta en un artículo que habla sobre la producción de poliéster insaturado a partir de desechos de PET provenientes de botellas plásticas<sup>96</sup>; por otro lado el método no ha sido aplicado en el PVC puesto que éste es principalmente utilizado en polímeros de condensación que son vulnerables a la ruptura de cadena como lo son las poliamidas, los poliuretanos y los poliésteres.<sup>54</sup>
- **Hidrólisis.** Es un proceso ejecutado en medio ácido o básico que permite la obtención de los monómeros de cierto polímero por la acción del agua o de un ion hidroxilo que reaccionan con los átomos de carbono bajo condiciones específicas de temperatura, presión y concentración, permitiendo tratar desechos que contengan color o polímeros que se encuentren mezclados. Dicho método es

---

<sup>95</sup>AGUADO, Jose.; P, David. Feedstock Recycling of Plastic Wastes. En : royal society of chemistry. 1999 pag 56-60

<sup>96</sup> MARIELA, E. poliésteres insaturados a partir de desechos de pet. 2002

empleado en el reciclaje químico de PET al hacer uso de ácido sulfúrico, implementando así una hidrólisis ácida.<sup>97</sup>

**4.1.2 Separación por disolución.** Cuando es ejecutado sobre residuos permite retirar los contaminantes y separarlos sin generar una modificación química en las moléculas de los mismos, igualmente no tiene la necesidad de contar con grandes cantidades de desecho limpio, homogéneo o separado, presentando una ventaja sobre el reciclaje mecánico.<sup>98</sup>

- **Disolución selectiva.** En el caso de la implementación de la disolución selectiva en polímeros el mecanismo de funcionamiento es el mismo. Este proceso de separación de mezclas de desechos plásticos sin técnicas de preclasificación mecánica implica el lavado previo de los plásticos, la molienda y la disolución en solvente que, según temperatura y presión disolverá cierto tipo de polímero separándolo de los demás y a su vez permitiendo que la disolución se efectúe por etapas para la extracción de polímeros en forma individual. Para procesos en donde los componentes son conocidos como es el caso del banner PVC/ PET es posible utilizar un solo solvente para lograr la separación por disolución de uno de los dos polímeros.

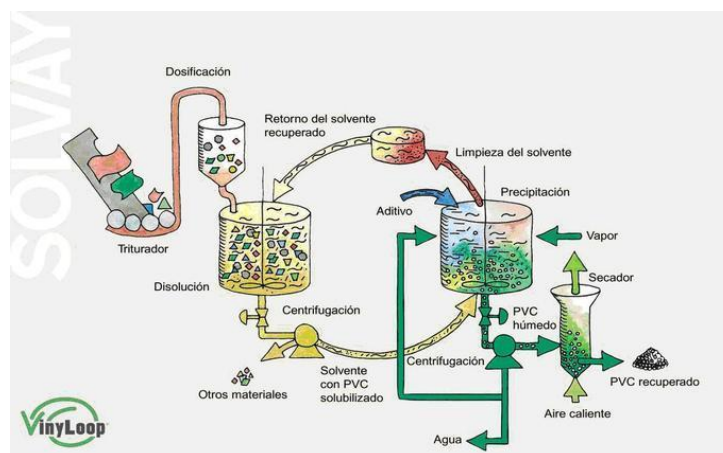
Las ventajas del proceso de separación por disolución selectiva es que permite recircular los solventes empleados hasta un 95 % en un proceso como el mostrado en la **Figura 4**, igualmente puede separar mezclas complejas de productos con múltiples capas sin verse afectado por contaminantes típicos, las densidades y similitudes de los polímeros no son un inconveniente en la separación y es posible tratar residuos poliméricos con pigmentos y/o unidos entre sí.

---

<sup>97</sup> Chemical recycling of poly (ethylene terephthalate) using sulfuric acid Zaki A. (2012)

<sup>98</sup> CEDEXMATERIALES. Residuos plásticos [ en línea] [consultado el 17 de abril 2019] Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html>

**Figura 4.** Proceso para recuperación de solventes empleados en disolución selectiva.



**Fuente:** CIENCIAS SOCIALES. Reciclado vinylop.[Consultado el día 17 de abril 2019] . Disponible en: <https://cienciadelosmateriales.weebly.com/reciclado-de-poliacutemeros.html>

**4.1.3 Despolimerización térmica.** Este mecanismo de aprovechamiento hace uso del aporte de calor permitiendo romper las cadenas de polímero, recuperando los monómeros u oligómeros presentes en éste. Bajo diferentes condiciones de presión y calor los polímeros de cadena larga se descomponen en hidrocarburos de petróleo.<sup>99</sup> Entre las tecnologías destacadas a nivel industrial se encuentran la pirolisis y el craqueo térmico.

- **Pirolisis.** Fundamentada en la descomposición fisicoquímica de un sólido por efecto del calor y en ausencia de oxígeno, obtiene productos primarios y secundarios en función a las condiciones del proceso, como son: la composición del material a pirolizar, la temperatura empleada y la velocidad de calefacción; estas dos últimas son manipuladas según el producto que se quiera optimizar, siendo este sólido, líquido o un gas.<sup>100</sup>

Un ejemplo de pirolisis empleada en plásticos se nombra en el artículo de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador donde se trabaja sobre polietileno de alta densidad, poliestireno y PET, estableciendo que la temperatura óptima para trabajar con plásticos está por encima de los 400°C y que el PET tiende a

<sup>99</sup> HISOUR. Despolimerización de plásticos [en línea] [consultado el 17 de abril 2019] Disponible en: <https://www.hisour.com/es/thermal-depolymerization-41131/>.

<sup>100</sup> SCHASCHKE, Carl. Dictionary of Chemical Engineering – pyrolysis. En: Oxford university press. 2014, pag 20-38

producir mayor cantidad de fracción sólida. <sup>101</sup>Por otro lado, la pirolisis empleada en el PVC permite obtener hidróxido de cloro y negro de carbón principalmente, al igual que alquitrán con una mínima cantidad de furanos clorados.

- **Craqueo térmico.** Este proceso químico consiste en la ruptura molecular de un material permitiendo producir compuestos más simples con la acción de altas temperaturas, la presión y el tiempo de residencia, en ausencia de oxígeno. <sup>102</sup>En plásticos los productos generados son una mezcla de hidrocarburos como las parafinas, olefinas, ciclo olefinas y aromáticos, generados a partir de una reacción primaria donde se da la ruptura de cadenas largas.

**Alternativas seleccionadas.** Una vez se tienen las diferentes alternativas para el método de aprovechamiento químicas revisadas bibliográficamente se observa que los procesos por solvólisis son realizados únicamente sobre polímeros de condensación como el PET y no sobre polímeros de adición como el PVC, descartando así las propuestas de glicolisis e hidrolisis y dejando la de pirolisis, craqueo térmico y disolución selectiva.

## 4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Para la selección de la alternativa se emplea al igual que en capítulo anterior la metodología Pugh, en donde se realiza una matriz de decisión la cual permite destacar de forma selectiva las características más importantes de los métodos de aprovechamiento. En la **Sección 3.2** del capítulo 3 se muestran los criterios de selección, la prioridad de estos y la escala de puntaje a tener en cuenta para llevar a cabo la selección de la alternativa de aprovechamiento.

En la **Tabla 24** se presentan las tres alternativas de propuesta para el aprovechamiento por método químico con su correspondiente puntaje asignado y el valor total que obtuvo cada una respectivamente. Igualmente, en la **Gráfica 19** se muestra un diagrama de barras donde se observa la ventaja que obtuvo la disolución selectiva con respecto a las demás.

---

<sup>101</sup>REDALYC pirolisis [en línea] [consultado el 17 de abril de 2019]<http://www.redalyc.org/jatsRepo/4760/476051461008/html/index.html>.

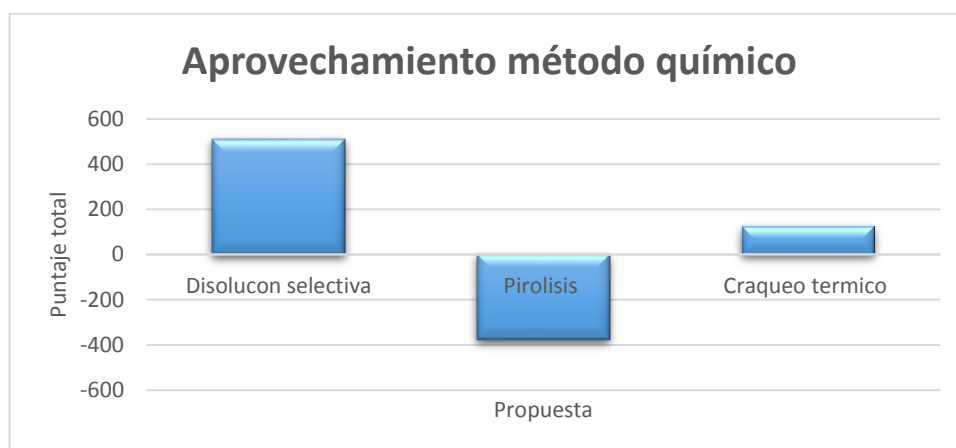
<sup>102</sup> EDUtecNE. Craqueo térmico [en línea] [consultado el 17 de abril de 2019] Disponible en: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/PPI-CAI/ppi2016\\_trabajo.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/PPI-CAI/ppi2016_trabajo.pdf).

**Tabla 24.** Escogencia de alternativa de aprovechamiento químicas.

<b>Criterio</b>	<b>Disp. MP</b>	<b>Disp. equipos</b>	<b>Tiempo ejec.</b>	<b>Cont. generada</b>	<b>Antec.</b>	<b>P Total</b>
Prioridad	85	70	60	30	55	
Disolución selectiva	2	2	2	-1	2	510
Pirólisis	-1	-2	-2	-1	0	-375
Craqueo térmico	2	-1	-1	1	1	125

**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfica 19.** Diagrama de barras, alternativas de aprovechamiento químico.



**Fuente:** elaboración propia.

### 4.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

El puntaje para cada uno de los criterios respecto a las propuestas de aprovechamiento tiene la posibilidad de obtener valores desde -2 hasta 2, se hace necesario explicar el por qué se le asignan dichos puntajes a cada uno.

#### 4.3.1 Disolución selectiva.

- **Disponibilidad de materia prima.** 2 puntos. En este método de aprovechamiento químico se hace uso de solventes afines a los tipos de polímeros presentes en el banner, solventes que son suministrados por Tecno parque Sena; además del uso de grandes cantidades de polímero con los que cuenta el proyecto.

- **Disponibilidad de quipos.** 2 puntos. Los equipos e implementos requeridos para la ejecución de la disolución se encuentran disponibles en Tecno parque Sena, como lo es un agitador de velocidad constante, una centrifuga, cabina de extracción, entre otros.
- **Tiempo de ejecución.** 2 puntos. El tiempo de ejecución se modifica dependiendo el diseño de experimentos que a su vez varia con la duración de cada experimento; sin embargo, esta propuesta puede ser desarrollada en no más de 2 semanas.
- **Contaminación generada.** -1 puntos. La contaminación es principalmente generada al deshacerse de los solventes implementados, acción que se puede mitigar al establecer una correcta recirculación del solvente empleado con el uso de una columna de destilación. Dicho esto, se sabe que no es posible recuperar en su totalidad el solvente disponible y que en algún momento éste debe ser descartado y remplazado en el proceso por uno completamente puro.
- **Antecedentes.** 2 puntos. La disolución es un proceso elemental de la ingeniería y en sí de la química, es por esto que bibliográficamente se encuentra variada información respecto al tema.

#### 4.3.2 Pirolisis.

- **Disponibilidad de materia prima.** -1 puntos. Para la pirolisis es necesario contar con gases como el helio o nitrógeno para modificación de la atmosfera, gases que no son de fácil acceso ni manejo a nivel experimental.
- **Disponibilidad de quipos.** -2 puntos. Para este proceso es indispensable contar con un reactor de pirolisis donde se mantenga constante la temperatura dentro del mismo además de ofrecer un ambiente totalmente inerte o lo que es igual sin oxígeno del cual no se dispone ágilmente. Igualmente se debe contar con el equipo de análisis por cromatografía de gases que presenta las mismas dificultades que el reactor.
- **Tiempo de ejecución.** -2 punto. Este criterio resulta ser crítico para esta alternativa de aprovechamiento puesto que no solo varia con el diseño de experimentos que se proyecte, sino que además se debe tener en cuenta el tiempo agregado que genera la búsqueda de los equipos necesario y asimismo la disponibilidad que tenga la empresa para su préstamo o posible fabricación.
- **Contaminación generada.** -1 punto. La contaminación generada es posible mitigarla dado que esta se presenta principalmente en forma de gases desprendidos cuando se degradan las cadenas de los polímeros, pero existe cierto riesgo de que dichos gases se escapen a la atmosfera.



- **Antecedentes.** 0 puntos. La pirolisis presenta datos variados a nivel bibliográfico, pero no datos respecto a la pirolización de polímeros como los encontrados en el banner, es por esto que se le otorga una calificación neutra, dado que algunos datos pueden ser obtenidos a nivel experimental.

#### 4.3.3 Craqueo térmico.

- **Disponibilidad de materia prima.** 2 puntos. Para la elaboración del craqueo térmico además de ser necesaria una cantidad considerable de polímeros se debe contar con una determinada cantidad de nitrógeno que se encuentra disponible en los laboratorios de Tecno Parque Sena.
- **Disponibilidad de quipos.** -1 puntos. Al igual que en el proceso de la pirolisis se hace uso de un reactor que permita obtener combustibles a partir del craqueo térmico; dicho reactor debe ser fabricado, pedido en forma de préstamo o comprado dado que no se contaría con éste inicialmente. También es necesario un quemador de combustibles líquidos con el que no se cuenta.
- **Tiempo de ejecución.** -1 puntos. A nivel experimental su realización implica manejar de manera eficiente las variables de proceso con el fin de obtener resultados óptimos. Este manejo de variables tomara un tiempo considerable para cada experimento, razón por la cual se le confiere una calificación negativa.
- **Contaminación generada.** 1 puntos. En la literatura se nombra que los gases que se desprenden por el craqueo térmico y que sean incondensables serán descargados a la atmosfera generando una gran contaminación. Por otra parte, al disminuir el desecho de plásticos al convertirlos en combustibles se mitiga mucha de la contaminación generada actualmente.
- **Antecedentes.** 1 punto. Sobre este tipo de aprovechamiento químico se presenta información inclusive para su uso sobre productos poliméricos por lo que se le da un puntaje de valor positivo.

### 4.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 4.4.1 Diseño de experimentos.

El diseño de experimentos que se realizo fue un diseño factorial esto por la necesidad de evaluar varios factores al tiempo. En la experimentación se empleo fue un diseño factorial  $2^4$  es decir dieciséis experimentos, a los cuales se les realizó su respectiva réplica, por lo que en total se llevaron a cabo 32 experimentos, una vez realizada la experimentación se procede a evaluar los datos mediante la implantación de un ANOVA y así poder determinar cuál es el factor que más influye en la separación. Las variables respuesta del diseño factorial corresponde a la

cantidad en gramos (g) de PVC y PET extraídos del proceso, a continuación, se muestra la respectiva selección de los parámetros

**I. Cantidad de factores.** Para la selección de los factores a evaluar se realizó una experimentación previa y se determinó que los factores a seleccionar debían influir en el costo final del proceso, por lo que se establecieron como factores el tamaño de partícula, la concentración de solvente, la velocidad de agitación (RPM) y la proporción de polímero con respecto al solvente, este último presentaba por literatura un rango entre 5 – 10 % en peso. Estos factores corresponden a los factores A, B, C y D respectivamente.<sup>103</sup>

**II. Cantidad de niveles.** La cantidad de niveles seleccionados fueron 2, determinando un nivel bajo simbolizado como (-) y un nivel alto simbolizado como (+). En la **Tabla 25** se muestran los valores bajos y altos tomados para cada factor.

**Tabla 25.** Niveles bajo y alto en relación al factor a evaluar

<b>Factor</b>	<b>Niveles Bajo</b>	<b>Alto</b>
Tamaño de partícula.	4 mm x 4 mm	20 mm x 20 mm
Concentración del solvente.	50 % de Ciclohexano y 50 % Xileno	100 % Xileno
Velocidad de agitación.	800 RPM	1000 RPM
Proporción del polímero respecto al solvente.	5%	10%

**Fuente:** elaboración propia.

La selección de los niveles para cada factor se realizó de la siguiente manera:

- **Tamaño de partícula.** Los niveles seleccionados para evaluar este factor corresponden a un nivel bajo de tamaño de partícula pequeño es decir 4 mm x 4 mm, se determinó escoger este tamaño de partícula por la facilidad al momento de cortar y tener la precisión experimental de que se cumpliera con la condición, de igual forma el nivel alto fue un tamaño de partícula de 20 mm x 20 mm, este se selección teniendo en cuenta las dimensiones del instrumento empleado en la experimentación.

<sup>103</sup> UNITED STATES PATENT. POLYMER RECYCLING BY SELECTIVE DSSOLUTION US52782A [en línea]. Inventor: E. Bruce Nauman, Schenectady; Jerry C. Lynch, Scotia, both of N.Y. enero 11 de 1994 [Consultado: 17 de abril de 2019]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5278282A/en?q=5%2c278%2c282>

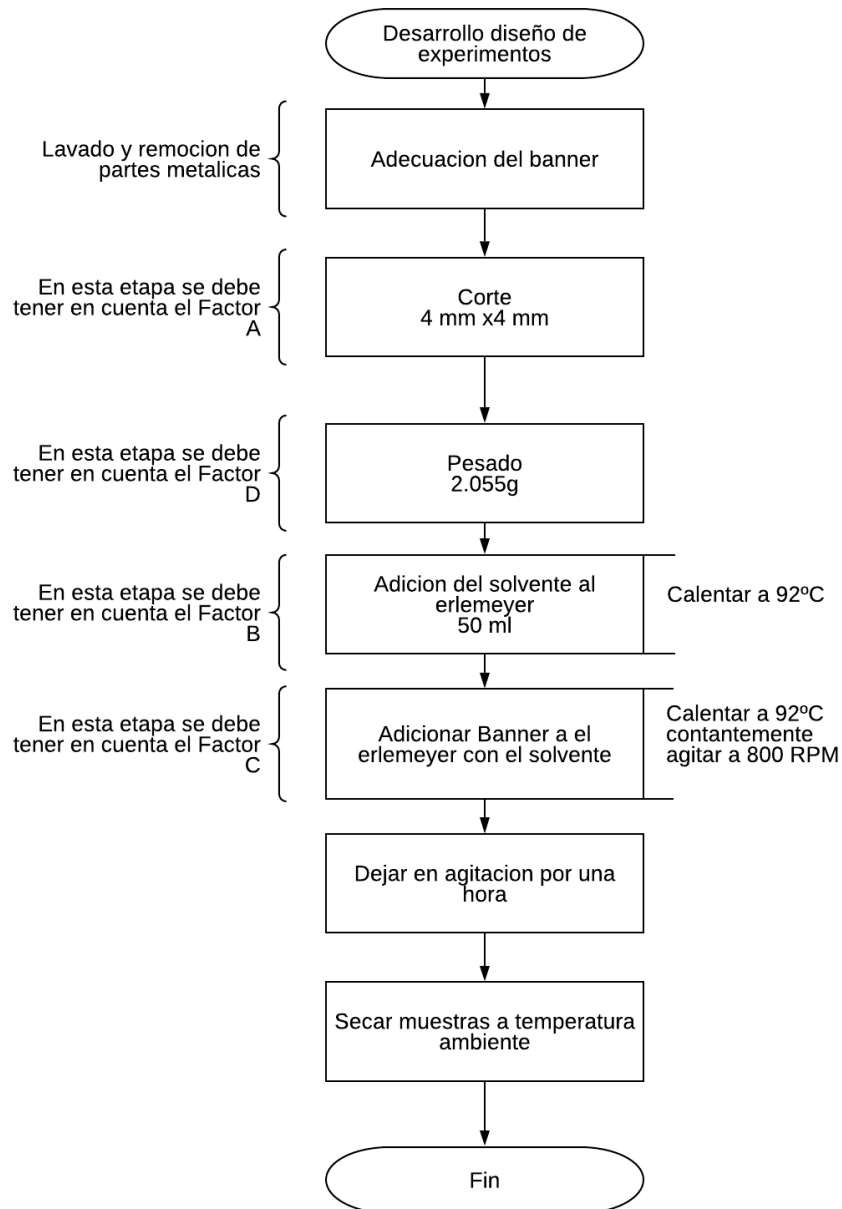
- **Concentración del solvente.** Al momento de seleccionar los niveles bajo y alto con respecto a la concentración de solvente se tuvo en cuenta que el solvente ideal para el proceso no podía ser diluido en agua, pues este no presenta una solubilidad en ella. Por lo que se optó por buscar otra mezcla y se encontró bibliográficamente que se habían realizado ensayos para una proporción del 50 % ciclohexano y 50 % xileno, este valor se tomó como el nivel bajo y la proporción de 100 % xileno se tomó como el nivel alto.<sup>90</sup>
  - **Velocidad de agitación.** Para la selección de los niveles bajo y alto en el factor de velocidad de agitación en RPM se tuvo en cuenta que a mayor velocidad de agitación se obtendría una mejor separación, sin embargo el equipo suministrado por tecno parque Sena solo permitía una velocidad de agitación máxima de 1000 RPM por lo que este valor se tomó como el nivel alto y se decidió tomar un valor no tan lejano pero que si redujera costos al momento de adquirir el equipo, este valor fue de 800 RPM siendo así el nivel bajo en la experimentación.<sup>104</sup>
  - **Proporción del polímero respecto al solvente.** Los niveles bajo y alto para la proporción de polímero se tomaron guiados por los datos suministrados en la búsqueda bibliográfica en donde se estable un nivel bajo de 5% y un nivel alto de 10 %. La cantidad de polímero a emplear cuando el factor B es bajo es de 2.055 para 5% y 4.11 para 10 %; cuando el factor B es alto la cantidad de polímero a emplear 2.1625 para 5% y 4.325 para el 10%, estos valores fueron calculados realizando la conversión del mililitro de solución a gramos y multiplicándolos por la proporción deseada.<sup>90</sup>
- III. Variable respuesta.** Como se mencionó anteriormente las variables respuesta de la experimentación son la cantidad en gramos de PVC y PET extraído. El diseño factorial a realizar se muestra en la **Anexo M**.

**4.4.2 Metodología del proceso de separación por disolución selectiva.** En el **Diagrama 18** se muestra la metodología para llevar a cabo el primer experimento es decir en donde todos los niveles por factor son bajos. El proceso inicia con la adecuación del banner es decir el proceso de lavado y cortado , luego se pesa la cantidad necesaria esta es de 2.055 g y posteriormente es añadida a una solución de 50 % ciclohexano y 50 % xileno, la cual se debe calentar previamente hasta la temperatura cercana al punto de ebullición , para este caso al ser una dilución la temperatura es 92° C y ser llevada a una velocidad de agitación de 800 RPM, el banner junto con la dilución deben permanecer en el proceso durante 1 hora para poder evaluar la separación.

---

<sup>104</sup> CHEMOSPHERE. Solvent- based separation and recycling of waste plastics. Yi-bo Z. Xu-dong L. (2017)

**Diagrama 18.** Metodología proceso de separación por disolución selectiva en donde todos los niveles son bajos



**Fuente:** UNITED STATES PATENT. POLYMER RECYCLING BY SELECTIVE DSSOLUTION US52782A [en línea]. Inventor: E. Bruce Nauman, Schenectady; Jerry C. Lynch, Scotia, both of N.Y. enero 11 de 1994 [Consultado: 2 de junio de 2019]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5278282A/en?q=5%2c278%2c282> y CHEMOSPHERE. Solbent- based separation and recycling of waste plastics. Yi-bo Z.. Xu-dong L. 2017

**4.4.3 Desarrollo del proceso de separación por disolución selectiva.** Una vez realizada la experimentación como se describe en el **Diagrama 18**, y realizada para cada uno de los experimentos y sus réplicas como se muestra en la **Imagen 27,28**

y **29** en donde se evidencia el proceso de separación del PVC, PET y el resultado final al obtener PVC y PET separados, se obtuvo una tabla de valores con los gramos de PVC y PET extraídos, esto es mostrado en la **Tabla 26**.

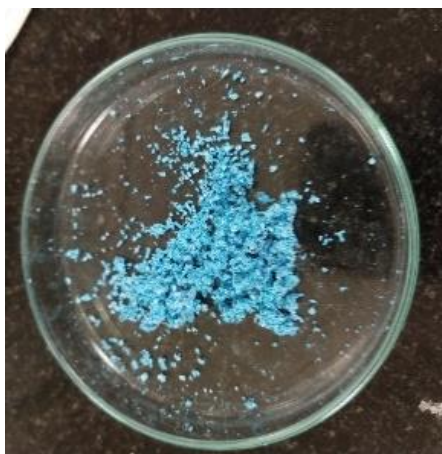
**Imagen 27.** Proceso de separación del PVC, PET



**Fuente:** elaboración propia.

En la **Imagen 30** se evidencia el resultado de la separación del PVC del PET al emplear las condiciones ideales para la separación las cuales son descritas más adelante.

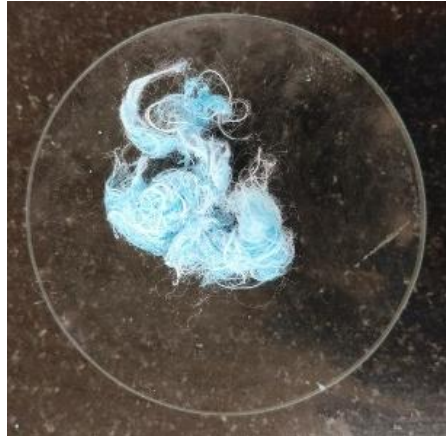
**Imagen 28.** Resultado final al obtener PVC



**Fuente:** elaboración propia.

La **Imagen 29** hace referencia al PET extraído al emplear las condiciones ideales de separación.

**Imagen 29.** Resultado final al obtener PET



**Fuente:** elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra los resultados después de realizar la experimentación con sus respectivas replicas, tomando como parámetros la cantidad en gramos de PVC y la cantidad en gramos de PET. Los asteriscos (\*) hacen referencia a las réplicas.

**Tabla 26.** Resultados diseño de experimentos factorial

<b>Numero de experimento</b>	<b>PVC (g)</b>	<b>PET (g)</b>
1	0,2096	0.000
1*	0,5074	0.000
2	0,4402	0.000
2*	0,4398	0.000
3	0,1406	0.000
3*	0,957	0.000
4	0,3328	0.000
4*	0,286	0.000
5	1,2979	0,8646
5*	1,3111	0,8514
6	3,1601	1,1649
6*	2,8796	1,4454
7	1,9807	0,1818
7*	2,0091	0,1534
8	2,5217	1,8033
8*	2,3918	1,9332
9	0,1501	0.000

**Tabla 26.** Continuación.

<b>Numero de experimento</b>	<b>PVC (g)</b>	<b>PET (g)</b>
9*	0,1437	0.000
10	0,0543	0.000
10*	0,957	0.000
11	0,4782	0.000
11*	0,55446	0.000
12	0,5179	0.000
12*	0,4308	0.000
13	1,7172	0,4453
13*	1,6138	0,5487
14	2,801	1,524
14*	2,6651	1,6599
15	2,2876	0,4775
15*	2,6475	0,5985
16	3,1377	1,1873
16 *	3,0746	1,2504

**Fuente:** elaboración propia.

**4.4.4 Resultados.** Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente en el diseño de experimentos, se realiza un ANOVA empleando el programa Statgraphics Centurion XVII con el fin de establecer que factores afectan más el proceso de separación, antes de realizar el ANOVA es necesario evaluar unos supuestos para así poder comprobar si el ANOVA es válida, Los supuestos a evaluar son mostrados en el **Anexo O**.

Al ingresar los datos para realizar los supuestos en el programa Statgraphics Centurion XVII fue necesario dividir los datos en muestras en 8 esto con el fin de correr los datos en el programa, esto se muestra en el **Anexo M** en donde se determina que el ANOVA tiene validez puesto que valores de significancia (p) son mayores a 0.05. Una vez realizada la prueba de los supuestos es válido realizar el ANOVA.

#### **I. Variable respuesta cantidad de PVC extraído**

En la **Tabla 27**. Se muestra el resultado del ANOVA, para la variable respuesta de cantidad en gramos de PVC extraído. Este ANOVA nos permite evaluar las interacciones existentes entre los factores y la variable respuesta. Esta interacción se evalúa con el valor – P en donde si este es menor a 0.05 (datos en color rojo) hay efecto entre los factores.

**Tabla 27.** ANOVA variable respuesta cantidad en gramos de PVC

<b>Análisis de Varianza para PVC g - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:FACT a	0,391029	1	0,391029	9,55	0,0056
B:FACT b	28,5183	1	28,5183	696,20	0,0000
C:FACT c	0,0390154	1	0,0390154	0,95	0,3402
D:FACT d	3,02755	1	3,02755	73,91	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,0136554	1	0,0136554	0,33	0,5698
AC	0,193716	1	0,193716	4,73	0,0412
AD	0,0150876	1	0,0150876	0,37	0,5504
BC	0,384091	1	0,384091	9,38	0,0059
BD	1,23134	1	1,23134	30,06	0,0000
CD	0,600707	1	0,600707	14,66	0,0010
RESIDUOS	0,860215	21	0,0409626		
TOTAL (CORREGIDO)	35,2747	31			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Fuente:** elaboración propia.

Para evaluar el valor (P) registrado en la **Tabla 27**. Es necesario establecer las hipótesis para cada efecto principal y sus interacciones de la siguiente forma:

- **Efecto del factor A evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor A hace referencia a el tamaño de partícula del banner, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A es decir el tamaño de partícula no afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A es decir el tamaño de partícula si afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
- **Efecto del factor B evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor B hace referencia a la concentración de solvente, se plantea la siguiente hipótesis
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B es decir la concentración del solvente no afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B es decir la concentración del solvente si afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.



- **Efecto del factor C evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor C hace referencia a la velocidad de agitación (RPM), se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C es decir la velocidad de agitación no afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C es decir la velocidad de agitación si afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto del factor D evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor D hace referencia a la proporción de polímero, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor D es decir la proporción de polímero no afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor D es decir la proporción de polímero si afecta la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto de la interacción del factor A y el factor B evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor A hace referencia a el tamaño de partícula del banner y el factor B hace referencia a la concentración de solvente, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor B es decir el tamaño de partícula y la concentración de solvente no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor B es decir el tamaño de partícula y la concentración de solvente si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto de la interacción del factor A y el factor C evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor A hace referencia a el tamaño de partícula del banner y el factor C hace referencia a la velocidad de agitación (RPM), se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor C es decir el tamaño de partícula y la velocidad de agitación no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor C es decir el tamaño de partícula y la velocidad de agitación si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.

- **Efecto de la interacción del factor A y el factor D evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor A hace referencia a el tamaño de partícula del banner y el factor D hace referencia a proporción de polímero, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor D es decir el tamaño de partícula y la proporción de polímero no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor A y del factor D es decir el tamaño de partícula y la proporción de polímero si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto de la interacción del factor B y el factor C evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor B hace referencia a la concentración de solvente y el factor C hace referencia a la velocidad de agitación (RPM), se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B y del factor C es decir la concentración de solvente y la velocidad de agitación (RPM), no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B y del factor C es decir la concentración de solvente y la velocidad de agitación (RPM), si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto de la interacción del factor B y el factor D evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor B hace referencia a la concentración de solvente y el factor D hace referencia a la proporción de polímero, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B y del factor D es decir la concentración de solvente y la proporción de polímero, no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor B y del factor D es decir la concentración de solvente y la proporción de polímero, si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  
- **Efecto de la interacción del factor C y el factor D evaluado en los niveles bajo y alto.** Debido a que el factor C hace referencia a la velocidad de agitación (RPM) y el factor D hace referencia a la proporción de polímero, se plantea la siguiente hipótesis.
  - Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C y del factor D es decir la velocidad de agitación (RPM) y la proporción de polímero no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
  - Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C y del factor D es decir la velocidad de agitación (RPM) y la proporción de polímero si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.

- Hipótesis nula: no hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C y del factor D es decir la velocidad de agitación y la proporción de polímero, no afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.
- Hipótesis alterna: si hay efecto entre los niveles bajo y alto del factor C y del factor D es decir la velocidad de agitación y la proporción de polímero, si afectan la cantidad en gramos de PVC extraídos.

En la **Tabla 27** se muestra que el valor (P) es menor a 0.05 para los efectos de los factores A, B y D y las interacciones entre los factores AC, los factores BC, los factores BD y los factores CD se rechaza la hipótesis nula por lo que se evidencia que existe un efecto entre los niveles de dichos factores. En el **Anexo M** se muestran el valor calculado de las interacciones y la desviación estándar presentadas por los mismo. En la **Tabla 28** se muestra el resultado final de las interacciones escogiendo el mayor promedio calculado.

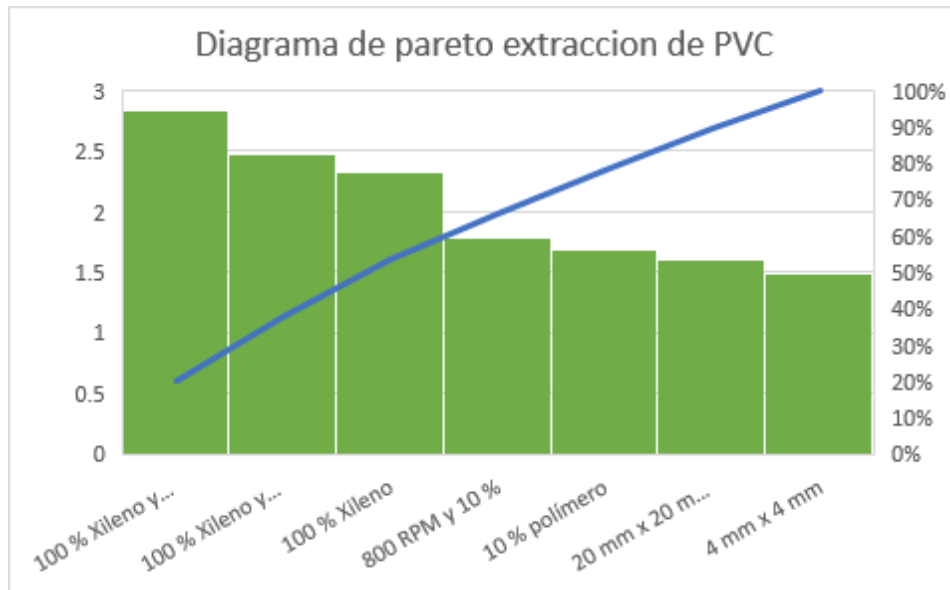
**Tabla 28.** Promedio calculado de las interacciones presentes en el diseño de experimentos

<b>Factor</b>	<b>Nivel</b>	<b>Cantidad removida (g)</b>
A	4 mm x 4 mm	1,4917 ± 0,0489
B	100 % Xileno	2,3252 ± 0,0726
D	10 % polímero	1,6888 ± 0,0681
AC	20 mm x 20 mm y 1000 RPM	1,6044 ± 0,0652
BC	100 % Xileno y 1000 RPM	2,4697 ± 0,0509
BD	100 % Xileno y 10 %	2,829 ± 0,1077
CD	800 RPM y 10 %	1,7909 ± 0,0785

**Fuente:** elaboración propia.

Para un análisis más detallado de los efectos de los factores que son estadísticamente significativos, se realiza el diagrama de Pareto que nos permitió asignar un orden de prioridades, los datos empleados para realizar el diagrama se muestran el **Anexo N**; el **Gráfica 20** hace referencia al diagrama descrito.

**Gráfica 20.** Diagrama de Pareto extracción de PVC



**Fuente:** elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico anterior se establece que el factor con mayor prioridad es la interacción entre la concentración del solvente y la proporción de polímero con respecto al solvente, obteniendo como mejor respuesta una concentración de 100% xileno y 10% polímero. Por el contrario, el factor con menor prioridad es el que evalúa únicamente el tamaño de la muestra de polímero.

## II. Variable respuesta cantidad de PET extraído

En la **Tabla 29** se muestra el resultado del ANOVA, para la variable respuesta de cantidad en gramos de PET extraído. Esta tabla nos permite evaluar las interacciones existentes entre los factores y la variable respuesta. Esta interacción se evalúa con el valor – P en donde si este es menor a 0.05 (datos en color rojo) hay efecto entre los factores.

**Tabla 29.** ANOVA variable respuesta cantidad en gramos de PET

<b>Análisis de Varianza para PET g - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:FACT a	0,0203213	1	0,0203213	0,53	0,4750
B:FACT b	8,19072	1	8,19072	213,30	0,0000
C:FACT c	0,032436	1	0,032436	0,84	0,3685
D:FACT d	1,97369	1	1,97369	51,40	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,0203213	1	0,0203213	0,53	0,4750
AC	0,00299538	1	0,00299538	0,08	0,7828
AD	0,0222605	1	0,0222605	0,58	0,4549
BC	0,032436	1	0,032436	0,84	0,3685
BD	1,97369	1	1,97369	51,40	0,0000
CD	0,077894	1	0,077894	2,03	0,1691
RESIDUOS	0,806416	21	0,0384008		
TOTAL (CORREGIDO)	13,1532	31			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Fuente:** elaboración propia.

Al evaluar el valor (P) registrado en la **Tabla 29** es necesario establecer las hipótesis para cada efecto como se realizó en el apartado anterior.

En la **Tabla 29** se muestra que el valor (P) es menor a 0.05 para los efectos de los factores B y D y la interacción entre los factores BD, se rechaza la hipótesis nula por lo que se evidencia que existe un efecto entre los niveles de dichos factores. En el **Anexo M** se muestran el valor calculado de las interacciones y la desviación estándar presentadas por los mismo. En la **Tabla 30** se muestra el resultado final de las interacciones escogiendo las mejores es decir las que remueve mayor cantidad de PET.

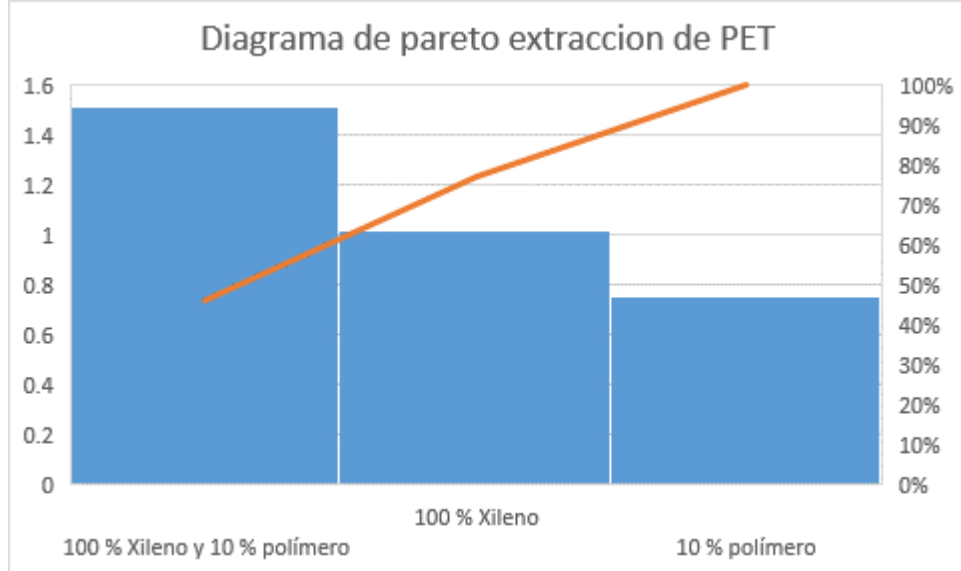
**Tabla 30.** Interacciones presentes en la remoción de PET

<b>Factor</b>	<b>Nivel</b>	<b>Cantidad removida (g)</b>
B	100 % Xileno	1,0119 ± 0,0685
D	10 % polímero	0,7543 ± 0,0450
BD	100 % Xileno y 10 % polímero	1,5086 ± 0,0901

**Fuente:** elaboración propia.

Con el fin de asignar un orden de prioridades a los efectos realizados por los factores se efectúa un diagrama de Pareto cuyos datos se encuentra en el **Anexo N**, en la **Gráfica 21** se muestra dicho diagrama.

**Gráfica 21.** Diagrama de Pareto extracción de PET



**Fuente:** elaboración propia.

En el gráfico anterior se establece que al igual que en la extracción del PVC el factor con mayor prioridad es la interacción entre la concentración del solvente y la proporción de polímero con respecto al solvente, obteniendo como mejor respuesta una concentración de 100% xileno y 10 % polímero. Por el contrario, el factor con menor prioridad para este caso es la concentración del polímero siendo de un 10% en proporción de polímero en solvente.

**4.4.5 Análisis de resultados de diseño de experimentos.** Una vez se evaluó el anova se encontró las condiciones ideales para cada proceso de separación.

**4.4.5.1 Variable respuesta cantidad en gramos de PVC extraído.** Al realizar el diseño de experimento se determina que las mejores condiciones son:

- **Tamaño de partícula:** 4 mm x 4 mm.
- **Concentración del solvente:** 100 % Xileno.
- **Velocidad de agitación:** no afecta las RPM desde que se mantenga en el rango de 800-1000 RPM.
- **Proporción de polímero:** 10 % de polímero.

**4.4.5.2 Variable respuesta cantidad en gramos de PET extraído.** Al realizar el diseño de experimento se determina que las mejores condiciones son:

- **Tamaño de partícula:** es posible tomar un rango entre 4 mm x 4 mm y 20 mm x 20 mm, pues no es una variable que afecte directamente la extracción
- **Concentración del solvente:** 100 % Xileno.

- **Velocidad de agitación:** no afecta las RPM desde que se mantenga en el rango de 800-1000 RPM.
- **Proporción de polímero:** 10 % de polímero.

#### 4.4.6 Caracterización del producto final

**I. PVC extraído.** Para la caracterización del PVC final se buscó la ficha técnica del PVC reciclado y se encontró que a esta materia prima cuenta con un tamaño de partícula es de aproximadamente 0.25 mm y la densidad es de 0.50 g/ml. Al PVC extraído se le calculo la densidad empleando la **Ecuación 1**, de igual forma el PVC extraído paso por un proceso de tamizado como se muestra en la **Tabla 31**, en donde se estableció el tamaño de partícula de este.

$$Densida\ PVC: \frac{0.1760g}{5.35\ ml - 5\ ml} = 0.502\ g/ml$$

**Tabla 31.** Proceso de tamizado de PVC recuperado

Numero de malla	Abertura de malla (µm)	(%) masa retenida
<20	>850	0,3318
20	850	0,3628
40	425	0,1791
60	250	0,0875
100	150	0,0226

**Fuente:** elaboración propia.

Finalmente se plantea que el PVC extraído cuenta con algunas de las características del PVC SG-7 reciclado comercial.

**II. PET extraído.** La caracterización final del PET extraído se realizó buscando la ficha técnica del PET reciclado en donde se estable una densidad del 1.40 g/ ml. Empleando la **Ecuación 1**, se realizó el cálculo de la densidad para el PET

$$Densidad\ PET: \frac{2.5372g}{42.5\ ml - 40\ ml} = 1.014\ g/ml$$

Se establece que la densidad del PET extraído no cumple con la densidad del PET en venta, esto se debe a que el PET extraído se encuentra en forma de hilo y el comercial se encuentra en gránulos.

**III. Recomendaciones.** Para mejor la caracterización del material se propone realizar las pruebas de DSC (Calorimetría diferencial de barrido) <sup>105</sup> con el cual se puede conocer el punto de fusión de los polímeros <sup>106</sup>, su valor K <sup>107</sup>, entre otros, valores importantes para los procesos de moldeo.

#### **4.5 CONDICIONES TECNICAS DEL PROCESO ESCALADO**

**4.5.1 Descripción de proceso de separación.** La propuesta de aprovechamiento químico consiste en la separación de los componentes principales del banner mediante la implementación del proceso de separación por disolución selectiva. Para llevar a cabo la propuesta de aprovechamiento de debe contar con una cantidad de materias primas al día cómo se muestra en la **Tabla 32**, la cantidad de materias primas hacen referencia a la incorporación de los 940,04 kg al día de residuo de banner al proceso de aprovechamiento. En el **Anexo L** se muestran los valores empleados experimentalmente, los cuales permiten escalar el proceso a condición de presión atmosférica.

El proceso de aprovechamiento inicia con la adecuación del banner en donde es alimentado a un tanque de lavado y luego a un proceso de remoción manual de las partes metálicas, las cuales al ser retiradas son almacenadas para venderse como chatarra.

Una vez adecuado el banner se procede a realizar la reducción del tamaño para poder facilitar la separación, este es alimentado a un molino en donde se disminuye el tamaño de partícula a 4 mm, posteriormente el banner pasa a un tanque con agitación y temperatura constante este es alimentado previamente con xileno y llevado a una temperatura de 138 °C con una velocidad de agitación de 1000 RPM, estas condiciones son establecidas en el capítulo anterior. El banner que ingresa al tanque con agitación permanece en este por 1h, manteniendo las condiciones iniciales de temperatura y agitación. Debido a que el proceso consiste en agregar un solvente que presente mayor afinidad a alguno de los dos polímeros se presenta en el tanque dos fases una líquida y una sólida. La fase líquida es alimentada a un ciclón en donde se separa el PVC de la solución de xileno y algunos pigmentos y la fase sólida es removida del tanque.

---

<sup>105</sup> MALVERNANALYTICAL. Análisis calorimetría diferencial de barrido. [en línea]. [consultado el 20 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/microcalorimetry/differential-scanning-calorimetry>

<sup>106</sup> UPV. Punto de fusión. [en línea]. [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html)

<sup>107</sup> INTEREMPRESAS. Peso molecular [en línea]. [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/110823-Influencia-del-peso-molecular-en-las-propiedades-del-PVC-molecularmente-orientado.html>



El xileno y los pigmentos son separados empleando un spraydrier permitiendo así que el xileno sea recirculado al sistema y los pigmentos se almacenan para ser reutilizado en otras industrias. En el **Diagrama 19** y **Diagrama 20** se muestra el diagrama de bloques y el diagrama PFD.

**Tabla 32.** Cantidad de materia prima necesaria para procesar el residuo de banner diario

Materia prima	Cantidad
Banner	940,04 kg
xileno	93,33 kg

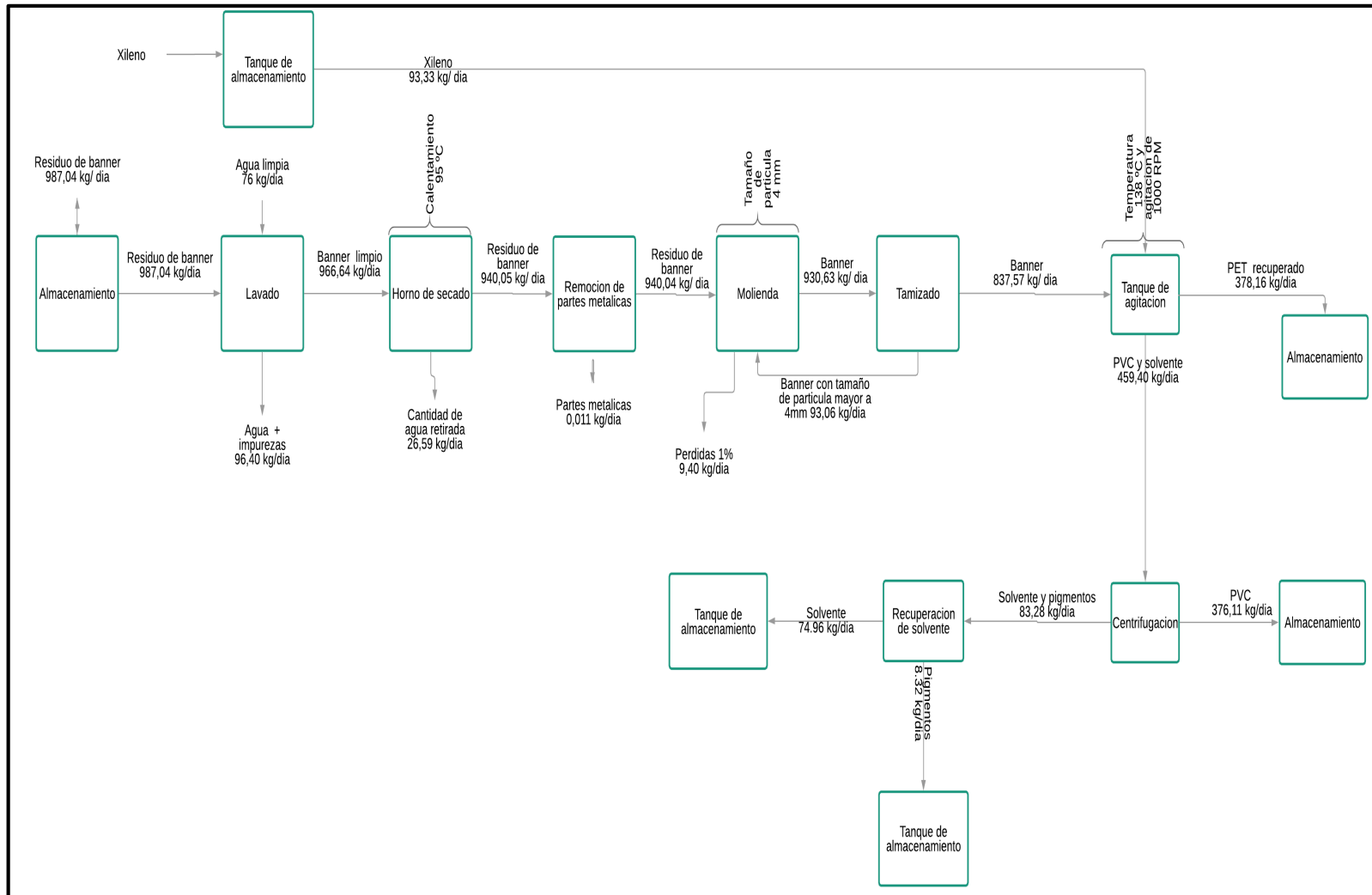
**Fuente:** elaboración propia.

El valor reportado en la tabla anterior de cantidad de xileno necesario para el proceso corresponde al escalado con los datos del **Anexo L**.

**4.5.2 Condiciones del proceso escalado.** Para llevar a cabo el proceso de separación por disolución selectiva se necesitan las siguientes etapas:

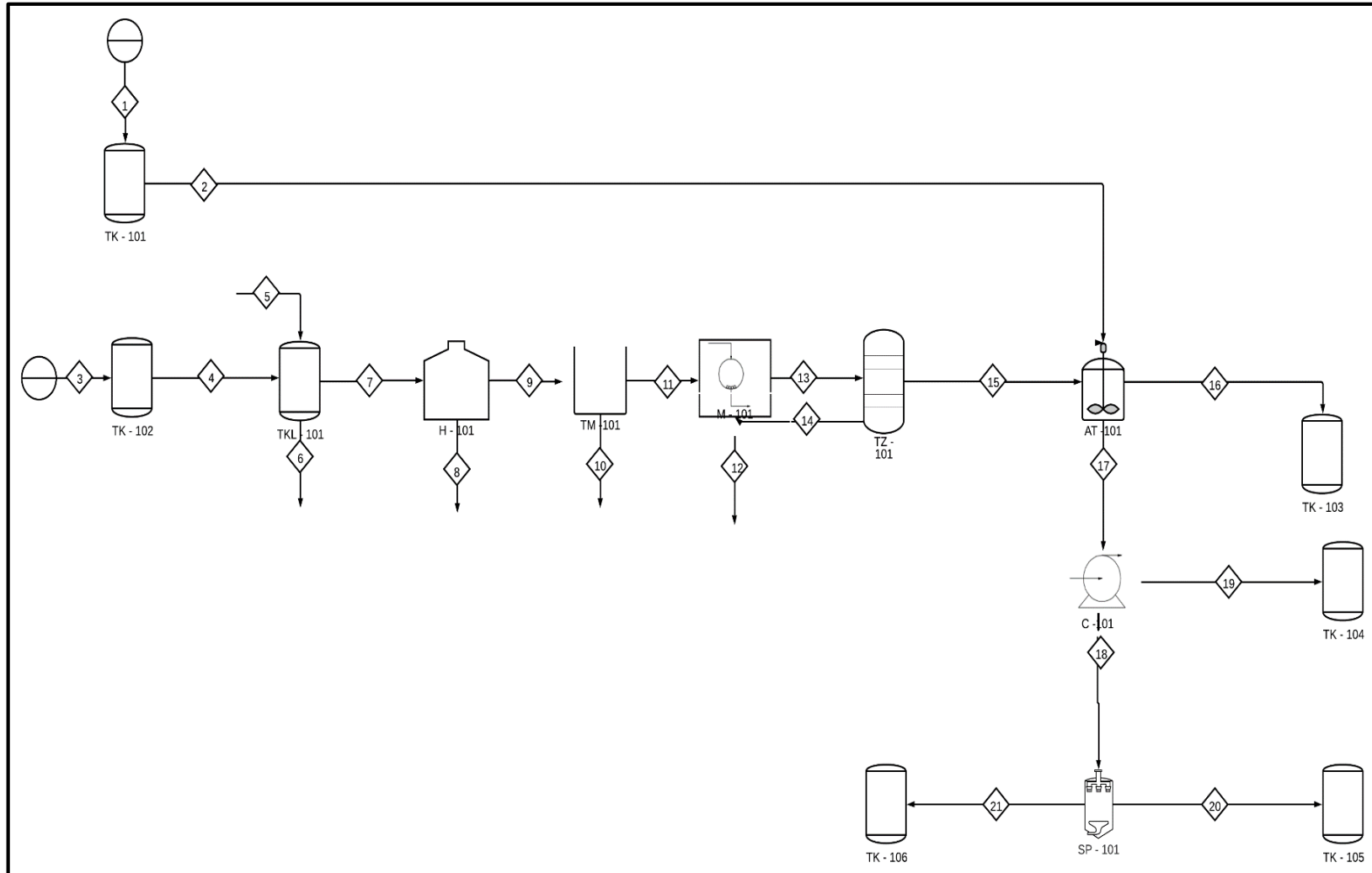
- I. Acondicionamiento del residuo de banner
  - Lavado
  - Remoción manual de partes metálicas
  - Horno de secado
  - Molienda
  - Tamizado
- II. Proceso de separación
- III. Recuperación de PVC
- IV. Separación del solvente / pigmento

**Diagrama 19. Separación por disolución selectiva**



Fuente: elaboración propia.

**Diagrama 20.** Proceso de separación por disolución selectiva



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 33.** Corrientes del proceso de disolución selectiva

Numero de corriente	Temperatura (°C)	Flujo (kg/día)
1	20	93,33
2	20	93,33
3	20	987,04
4	20	987,04
5	20	76,00
6	20	96,4
7	20	966,64
8	95	26,59
9	20	940,05
10	20	0,011
11	20	940,04
12	20	9,30
13	20	930,63
14	20	93,06
15	20	837,57
16	20	378,16
17	20	459,4
18	20	83,28
19	20	376,11
20	20	8,32
21	20	74,96

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 34.** Convenciones del proceso aprovechamiento químico

#### Convenciones de equipos

TK -101	Tanque de almacenamiento de xileno
TK -102	Tanque de almacenamiento residuo de banner
TKL -101	Tanque de lavado
H -102	Horno de secado 95°C
TM -101	Tanque de remoción manual
M -101	Molino de cuchillas (4mm)
TZ -101	Tamizador (4mm)
AT -101	Tanque de separación 138°C 1000 RPM
TK - 103	Tanque de almacenamiento de PET
TK -104	Tanque de almacenamiento alcohol polivinilico
C -101	Centrifuga
SP -101	Spray Dryer
TK -105	Tanque de almacenamiento de xileno recuperado
TK -106	Tanque de almacenamiento de pigmentos recuperados

**Fuente:** elaboración propia.

En el **Diagrama 19** se evidencio el proceso de separación por disolución selectiva planteado anteriormente y en las **Tablas 33 y 34** se muestran las corrientes y las convenciones del proceso, a continuación, se describen cada una de las etapas.

#### **4.5.2.1 Descripción de las etapas del proceso.**

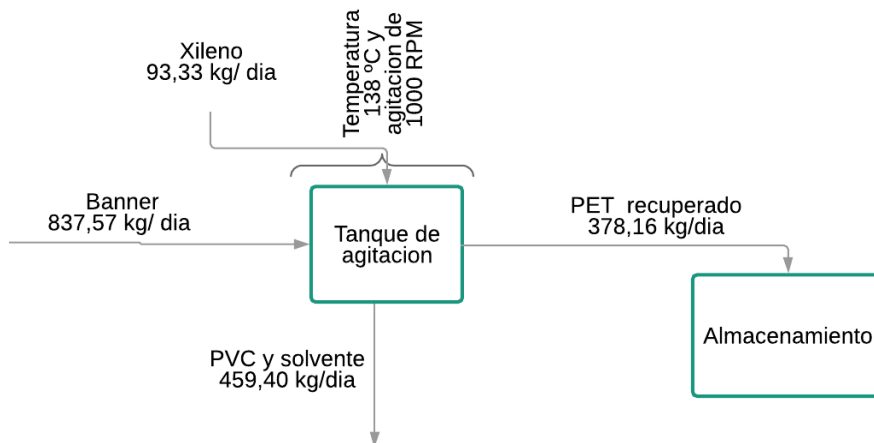
- I. Acondicionamiento** del residuo de banner. Al igual que en el anterior proceso es importante someter el residuo de banner a un proceso de acondicionamiento previo antes de ser llevado al proceso de separación, este proceso consta de cinco etapas; lavado, horno de secado, remoción manual de partes metálicas, molienda y tamizado. Estos con el fin de remover impurezas, es importante realizar el secado para evitar daños en el molino al momento de realizar la disminución del tamaño a 4mm este último aumenta el área de contacto entre el banner y el solvente.
- II. Proceso de separación.** Para el proceso de separación es necesario realizar un calentamiento previo del solvente en este caso es el xileno este debe ser llevado a una temperatura de 138°C cómo se describe en el capítulo anterior, luego se debe ingresar a esta etapa el banner y mediante agitación a 1000 RPM se llevará a cabo la separación.
- III. Recuperación del PVC.** El proceso de recuperación del PVC consta de una etapa en donde la solución (solvente + PVC) pasa por un ciclón en donde la parte más volátil extrae por cimbras y la otra por fondos.
- IV. Separación solvente y pigmentos.** Debido a que el solvente presenta una alta toxicidad es importante recircularlo al proceso, esto se realiza mediante la implementación de un spray dryer.
- V. Secado de materias primas.** Finalmente, las materias primas son llevada a una etapa de secado en donde es removido el exceso de solvente que presentan, esto se realiza a temperatura ambiente con el fin de evitar que los polímeros se termo formen.

**4.5.2.2 Balance de masa.** A continuación, se procede a realizar un balance de masa de cada una de las operaciones que se llevan a cabo en el proceso de separación por disolución selectiva empleando la **Ecuación 5** mencionada en el capítulo anterior.

- I. Acondicionamiento del residuo de banner.** Los procesos llevados a cabo en esta etapa fueron descritos en **la sección 3.5.4.2** en el **ítem I.A** donde los balances de masa de ambos procesos son los mismos.
- II. Proceso de separación.** En la etapa de separación ingresan 93,33 kg/ día de xileno los cuales son llevado a una temperatura de 137°C, una vez el xileno se

encuentra a dicha temperatura se procede a ingresar 837,57 kg/ día de banner los cuales son agitados a 1000 RPM durante una hora. Esta etapa de separación es descrita en el **Diagrama 21** en donde se muestran las entradas y salidas del sistema. Cabe resaltar que en el proceso de separación no se obtiene una separación total con respecto a los pigmentos.

**Diagrama 21.** Etapa de separación

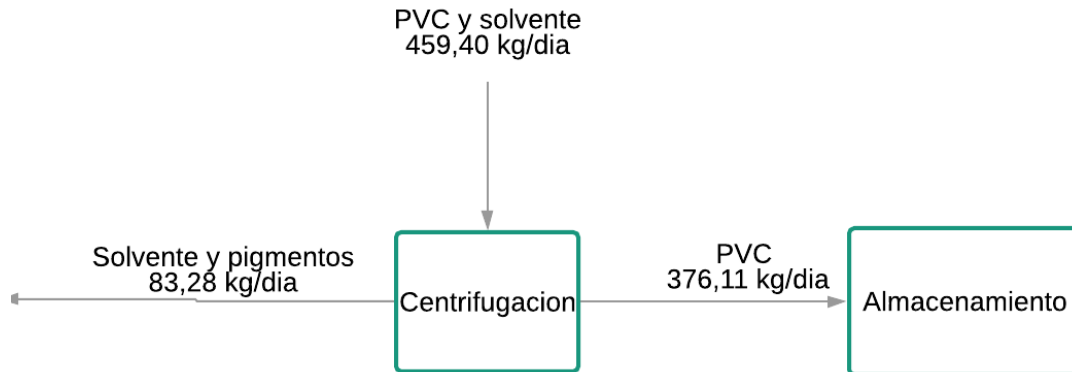


**Fuente:** elaboración propia.

$$\begin{aligned}
 & 837,57 \frac{\text{kg Banner}}{\text{día}} + 93,33 \frac{\text{kg Xileno}}{\text{día}} \\
 & = 459,40 \frac{\text{kg Sln. PVC} + \text{solvente}}{\text{día}} + 378,16 \frac{\text{kg PET}}{\text{día}}
 \end{aligned}$$

**III. Recuperación del PVC.** Para la etapa de recuperación del PVC que se encuentra en solución con el solvente, es necesario ingresar 459,40 kg / día de solución a una centrifuga, las salidas de esta corresponden a 376,11 kg/ día de PVC y 83,28 kg/día de solución (solvente + pigmentos). En el **Diagrama 22** se muestra las entradas y salidas de la etapa de recuperación.

**Diagrama 22.** Etapa de recuperación de PVC

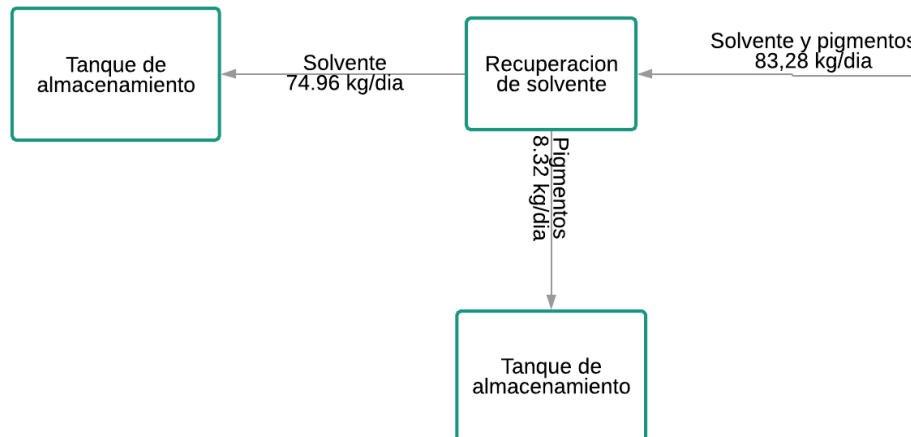


**Fuente:** elaboración propia.

$$459,40 \frac{kg \text{ Sln. PVC} + \text{solvente}}{dia} = 376,11 \frac{kg \text{ PVC}}{dia} + 83,28 \frac{kg \text{ solvente pigmentos}}{dia}$$

**IV. Separación solvente pigmentos.** La separación de solvente y pigmentos se realiza en un spray dryer en donde ingresan 83,28 kg/día de los cuales se logra recuperar 80.96 kg/día de solvente esto es descrito en el **Diagrama 23**.

**Diagrama 23.** Separación solvente pigmentos



**Fuente:** elaboración propia.

$$83,28 \frac{kg \text{ olvente pigmentos}}{dia} = 74,96 \frac{kg \text{ Xileno}}{dia} + 8,32 \frac{kg \text{ Pigmentos}}{dia}$$

**4.5.2.3 Selección de equipos.** Para la puesta en marcha del proceso de aprovechamiento químico, empleando una separación por disolución selectiva, es necesario realizar la adquisición de los equipos pertinentes como se muestran a continuación, de igual forma el valor reportado de los equipos es un estimado debido a que la pagina muestra rangos de precios dependiendo la capacidad del equipo.

En la **Tabla 35** se muestra el flujo en kg/día y en kg/ hora, teniendo en cuenta que un día de trabajo corresponde a 8 horas.

**Tabla 35.** Capacidad requerida por hora en los equipos empleados en el proceso

Equipo	Capacidad	
	kg/día	kg/hora
Tanque de almacenamiento (líquidos)	93,33	11,66
Tanque de almacenamiento (sólidos)	987,04	123,38
Tanque de lavado	987,04	123,38
Tanque para agua e impurezas	226,5	28,31
Horno de secado	966,64	120,83
Molino	940,04	117,50
Tamiz	930,63	116,32
Tanque de almacenamiento (molino) #2	93,06	11,63
Tanque de mezclado	837,56	104,69
Tanque de almacenamiento (sólidos) #3	378,16	47,27
Centrifuga	459,40	57,42
Tanque de almacenamiento de (sólidos) #4	376,11	47,01
Spraydrier	83,28	10,41
Tanque de almacenamiento (sólidos) #5	8,32	1,04
Tanque de almacenamiento (líquidos) #3	74,96	9,37

**Fuente:** elaboración propia.

- I. **Acondicionamiento del residuo de banner.** Debido a que la etapa de adecuación del banner es la misma que la realizada en el proceso de fabricación del material compuesto (aglomerado) y que los balances se mantienen, es preciso emplear los equipos mostrados en los **Cuadros 2, 3,4 y 5** del capítulo anterior y el costo de la mano de obra para la sub etapa de remoción de partes metálicas.
- II. **Proceso de separación.** Para la etapa de separación es necesario emplear un tanque fabricado en acero inoxidable 304 cuya capacidad cumpla con el requerimiento del proceso, este tanque cuenta con agitación en un rango de 0 – 2800 RPM y calefacción. En el **Cuadro 11** se muestran las especificaciones técnicas del equipo.




### Cuadro 11. Tanque de mezclado con calentamiento

	
Costo	USD 610
Capacidad (kg/hora)	110
Potencia requerida (kW)	0,97
Dimensiones (m)	0.528 x 1

**Fuente:** ALIBABA. Stainless Steel beer fermentation.[Consultado el 5 de julio] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Stainless-steel-beer-fermentation-tank-high-60789999928.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.53.638a1425oeM4rv>

- III. Recuperación del PVC.** En la etapa de recuperación del PVC de la solución con el solvente, se emplea una centrifuga la cual cuenta con un impulsador hidráulico para altas fuerzas de empuje, dada la capacidad de la centrifuga esta etapa del proceso se realizará con la carga diaria durante 1 hora de funcionamiento, las especificaciones técnicas de este equipo se muestran en el **cuadro 12.**


### Cuadro 12. Centrifuga

	
Costo	USD 5000
Capacidad (kg/h)	1200
Potencia requerida (kW)	2,2
Dimensiones (m)	0,8*0,7*1,4

**Fuente.** ALIBABA. Ultracentrifugas [Consultado el 5 de julio] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/ultracentrifuges-62010223621.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.327.51d22b365KJMeA>

**IV. Separación solvente pigmentos.** La recuperación del solvente de la solución solvente pigmentos se realiza mediante la implementación de un spray dryer. Este equipo cuenta con una cubierta fabricada en acero inoxidable y un porcentaje de pulverización del 95 – 99.9 %. Algunas especificaciones técnicas de equipo se muestran en el **Cuadro 13**.

**Cuadro 13.** Spray dryer

	
Costo	USD 10700
Capacidad (kg/hora)	25
Potencia requerida (kW)	18
Dimensiones	4 x 2,7 x 4,5

**Fuente.** ALIBABA. Good quality [Consultado el 5 de julio]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Good-Quality-centrifugal-spray-dryer-for-60785640549.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.22a34fe6h13cjb>

**V. Tanque de almacenamiento.** Para la selección de los tanques de almacenamiento se tuvo en cuenta una capacidad estándar para todos, siendo esta la requería en kg por día, igualmente el material de algunos tanques de almacenamiento debe ser acero inoxidable como se muestra en el **cuadro 9** y **Cuadro 10**.

**4.5.2.4 Balance de energía.** Una vez finalizada la selección de equipos se calcula la energía necesaria para llevar a cabo el proceso del mismo modo que para el proceso anterior, esto se realiza empleando **Ecuación 2** y teniendo en cuenta que para los equipos seleccionados se desprecia la energía potencial, cinética e interna. En la **Tabla 36** se muestran los datos calculados para cada equipo. La energía necesaria para llevar a cabo el proceso es de 1887696 kJ.

**Tabla 36.** Energía requerida por equipo

<b>Equipo</b>	<b>Potencia requerida (kW)</b>	<b>Tiempo de operación(s)</b>	<b>Energía necesaria (kJ)</b>
Tanque de lavado <sup>84</sup>	7	900	6300
Horno secado <sup>83</sup>	1,8	7200	12960
Molino <sup>85</sup>	37	6000	222000
Tamizadora línea vibratoria <sup>86</sup>	0,5	900	450
Tanque de mezclado con calentamiento <sup>108</sup>	0,97	3600	3492
Centrifuga <sup>109</sup>	2,2	1800	3960
Spray dryer <sup>110</sup>	18	7200	129600
	<b>Energía total</b>		<b>378762</b>

**Fuente:** elaboración propia.

**4.5.2.5 Distribución de planta.** En el **Plano 2** se representa la planta de aprovechamiento químico, en la cual se identifica la ubicación de las etapas de recuperación y las operaciones unitarias más importantes del proceso.

Las áreas encerradas en línea punteada hacen referencia a las diferentes etapas del proceso estas son:

- Línea punteada amarilla: hace referencia al área de almacenamiento y recepción de materia prima, por la dimensión de los equipos seleccionados esta área es de 59,97 m<sup>2</sup>
- Línea punteada verde. Esta hace referencia al área de adecuación de las materias primas y abarca un área total de 24,66 m<sup>2</sup>
- Línea punteada roja: hace referencia a el área de separación, esta equivale a un área de 0,52 m<sup>2</sup>
- Línea punteada morada: esta hace referencia a el proceso de centrifugación el cual tiene un área de 0,56 m<sup>2</sup>
- Línea punteada azul: hace referencia al área de separación del solvente y los pigmentos mediante la implementación de un Spray Dryer este tiene un área de 10,8 m<sup>2</sup>
- Línea punteada rosa: hace referencia la are de bodega es decir los tanques de almacenamiento cuya área es de 15,73 m<sup>2</sup>

<sup>108</sup> ALIBABA tanque de mezcla con calentamiento. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Stainless-steel-beer-fermentation-tank-high-60789999928.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.53.638a1425oeM4rv>

<sup>109</sup> ALIBABA centrifuga. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/ultracentrifuges-62010223621.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.327.51d22b365KJMeA>

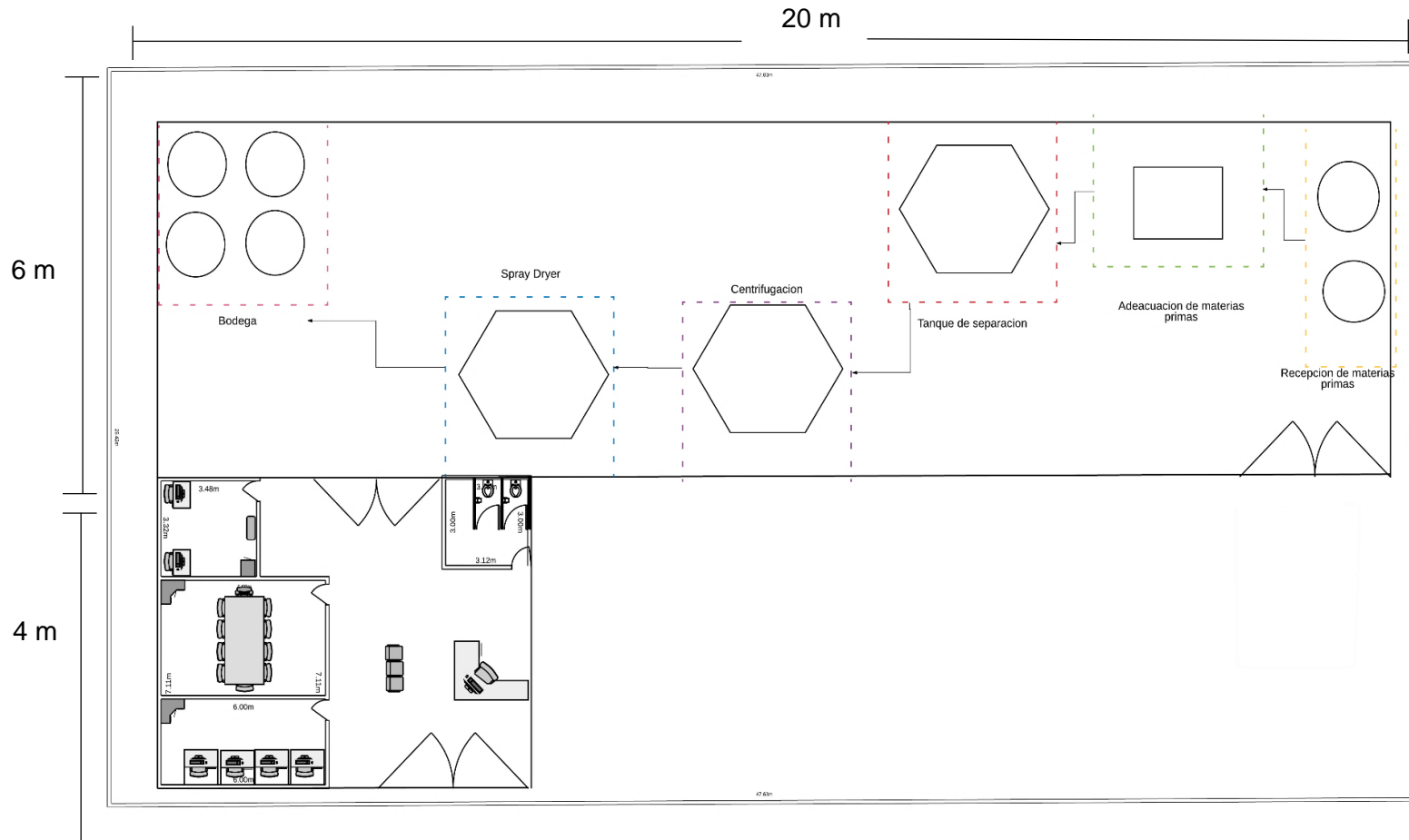
<sup>110</sup> ALIBABA spray drier. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Good-Quality-centrifugal-spray-dryer-for-60785640549.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.22a34fe6hl3cjb>

- Finalmente el área estimada para el área administrativa equivaldrá a el 15% del área de proceso, para un total de 200 m<sup>2</sup>

#### **4.6 CONCLUSIÓN**

Como conclusión final de este capítulo se estable que el proceso de separación óptimo que abarca todos los criterios y es el que mejor los cumple es el proceso de disolución selectiva, por lo que a este se le realizó el diseño de experimentos con el fin de encontrar las mejores condiciones de proceso de separación, estas fueron determinadas midiendo cuatro factores los cuales arrojaron los siguientes datos para la mejor separación: tamaño de partícula igual 4 mm x 4 mm, concentración de solvente igual a 100 % de xileno, una velocidad de agitación de 800 RPM y una proporción permitida de polímero de 10 % en peso. De igual forma se realizó la especificación de las condiciones técnicas y se encontró que el área apropiada para llevar a cabo el proceso es de 200 m<sup>2</sup>

## Plano 2. Planta proceso de separación por disolución selectiva



Fuente: elaboración propia.

## 5. ANALISIS COSTOS DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se realizó el análisis financiero con el fin de evaluar el tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial. Para el presente proyecto se evaluarán los costos asociados a los procesos de producción mencionados en el **capítulo 3 y 4**. La recuperación de la inversión se medirá en un plazo de 5 años, verificando si se generan ganancias e implementando la metodología financiera comprendida por el indicador VPN, valor presente neto.

Para este análisis se tuvo en cuenta los siguientes supuestos.

- Valores del índice de precios al consumidor (IPC) de 3,31% a mayo del 2019 el cual calcula el cambio de los costos de una canasta de bienes y servicios. La variación porcentual del mismo simboliza la inflación entre dos periodos de tiempo, calculado por el DANE mensualmente para Colombia. <sup>111</sup>
- Tasa representativa del mercado (TRM), 3 296,87 COL \$/USD, del día 6 de junio del año 2019. <sup>112</sup>

### 5.1 ANALISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO MECÁNICO

A continuación, se muestran los costos asociados a la implementación de la planta teniendo en cuenta los trabajadores necesarios, el área requerida y los equipos necesarios.

**5.1.1 Costos de equipos y reactivos.** En el proceso de aprovechamiento mecánico, se manejaron los costos asociados a los equipos del proceso mostrados en la **Tabla 37** y los costos de reactivos asociados a la producción diaria mostrados en la **Tabla 38**. Ambas tablas presentan el costo en dólares y su respectivo valor en pesos colombianos.

---

<sup>111</sup>BANREP. IPC [en línea] [consultado el día 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/indice-precios-consumidor-ipc>

<sup>112</sup> BANREP.TRM [en línea] [consultado el día 6 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/tasa-cambio-del-peso-colombiano-trm>

**Tabla 37.** Equipos necesarios para el desarrollo de la propuesta

<b>Equipos</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo (COP \$)</b>	
Tamizador doble cubierta	2000	\$	6593740
Horno secado 1	2100	\$	6923427
Tanque de lavado	3000	\$	9890610
Horno secador 2	2100	\$	6923427
Molino	9000	\$	29671830
Tamizador línea vibratoria	500	\$	1648435
Tanque de mezclado 1	4100	\$	13517167
Tanque de mezclado 2	4250	\$	14011697
Prensa hidráulica	20000	\$	65937400
Moldes (unidad)	76 und.	\$	250000
Tanques de almacenamiento líquidos	2000	\$	6593740
Tanques de almacenamiento sólidos	711	\$	2344074
<b>Costo total</b>	<b>49761</b>	<b>\$</b>	<b>164305548</b>

**Fuente:** elaboración propia.

Para el costo asociado a la instalación de los equipos se estima un aumento de 10% en el costo total de equipos.

**Tabla 38.** Reactivos necesarios para el desarrollo de la propuesta para un mes de producción

<b>Reactivos</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo (COP \$)</b>	
Polvillo se aserrín de pino	1781,07	\$	5871949
Resina Poliéster <sup>113</sup>	89596,26	\$	295387221
Alcohol polivinílico <sup>114</sup>	55750,46	\$	183802013
<b>Costo total</b>	<b>147127,79</b>	<b>\$</b>	<b>485061184</b>

**Fuente:** elaboración propia.

**5.1.2 Costos de mano de obra.** Como se observa el costo total de inversión en equipos y de reactivos calculado es de \$ 665 797 286 COP; adicional a esto se requiere calcular el costo por mano de obra con valor de \$1 475 345 por operario conforme al salario mínimo legal vigente más prestaciones sociales de ley para cada operario, esto se muestra en la **Tabla 39**.

<sup>113</sup> ALIBABA. Resina poliéster [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/unsaturated-polyester-resin-price-60804815055.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.6ab42d77mYz2Lo&s=p>

<sup>114</sup> ALIBABA. polivinil alcohol [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Chinese-PVA-1799-polyvinyl-alcohol-100-60514241807.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.61a4731cXcvf9H>

**Tabla 39.** Gastos de mano de obra mensual.

<b>Ítem</b>	<b>Costo (\$ COP)</b>
Salario	\$ 925148
Vacaciones	\$ 38547
Cesantías	\$ 77095
Intereses a las cesantías	\$ 770
Prima de servicios	\$ 77095
Subsidio de transporte	\$ 97032
Pensión	\$ 111017
Dotación	\$ 70000
ARL y riesgos	\$ 78637
TOTAL	\$ 1475345
TOTAL (5 operarios)	\$ 7376727

**Fuente:** elaboración propia.

**5.1.3 Costos de terreno.** Conforme al tamaño de los equipos el área requerida para la instalación de la planta total es de 146,60 m<sup>2</sup> como se observa en la **Tabla 40**.

**Tabla 40.** Área requerida para la instalación de la planta.

<b>Equipo</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>
Tamizador doble cubierta	1,34
Horno secador 1	1,79
Tanque de lavado	9,60
Remoción de partes metálicas	4,00
Horno secador 2	1,79
Molino	8,40
Tamizador línea vibratoria	0,87
Tanque de mezclado 1 y 2	8,13
almacenamiento de moldes	71,34
tanques de almacenamiento de líquidos	6,94
tanques de almacenamiento de solidos	7,32
Prensa hidráulica	5,94
área total	127,48

**Fuente:** elaboración propia.

El área mostrada anteriormente solo toma en cuenta el área empleada para la planta de producción y a ésta hay que sumarle el área ocupada por el manejo administrativo que equivale a un 15% de la anterior siendo esta 19,12 m<sup>2</sup>, para un área total de 146,60 m<sup>2</sup>. Para mostrar un costo de arriendo equivalente se buscó una bodega en la ciudad de Bogotá estrato 3 que cumpliera con el área mínima y contara con servicios como luz trifásica, shut de basuras y punto de gas que conlleva un costo mensual de \$5 300 000 como la mostrada en la **Imagen 30**.



**Imagen 30.** Bodega de 150 m<sup>2</sup> ciudad de Bogotá.



**Fuente.** ICASA. Inmueble bodega [Consultado el 2 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.icasas.com.co/inmueble/1099122>

Para el área administrativa se dispondrán \$50 000 000 COP que se invertirán en equipos de oficina.

**5.1.4 Gasto energético.** Empleando los balances de energía mostrados en el capítulo anterior se calculó el costo energético con la **Ecuación 7** que arroja el costo en pesos de KW/día para cada equipo, para realizar este cálculo se tomó el consumo medio por estrato en \$/KWh que equivale a 567,1362<sup>115</sup> y se cataloga en la modalidad E5 y E6 industrial y comercial. En la **Tabla 41** se muestran los resultados del gasto energético mensual.

**Ecuación 7.** Cálculo del costo energético. <sup>116</sup>

$$\frac{COP}{KWh} = Q(Wh) * \frac{567.1362 \left( \frac{COP}{KWh} \right)}{1000 Wh}$$

<sup>115</sup> ENEL. Tarifario [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/esp%C3%B1ol/personas/1-17-1/2019/Tarifario-enero-2019.pdf>

<sup>116</sup> ELECTRICAPLICADA. KW - KWH [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://www.electricaplicada.com/significa-diferencia-kw-kwh-explicados/>

**Tabla 41.** Gasto energético mensual asociado a equipos

Equipos	Energía (W)	Gasto energético diario	Gasto energético mensual
Tamizador doble cubierta	750	\$ 851	\$ 22118
Horno secado 1	1800	\$ 24500	\$ 637007
Tanque de lavado	7000	\$ 7940	\$ 206438
Horno secador 2	1800	\$ 16334	\$ 424672
Molino	37000	\$ 268596	\$ 6983488
Tamizador línea vibratoria	500	\$ 567	\$ 14746
Tanque de mezclado 1	800	\$ 1815	\$ 47186
Tanque de mezclado 2	1030	\$ 4673	\$ 121503
Prensa hidráulica	28000	\$ 63519	\$ 1651501
Gasto energético total		\$ 388795	\$ 10108658

**Fuente:** elaboración propia.

En la **Tabla 42** se muestran los gastos totales asociados a la implantación de los equipos y gastos de un mes de producción cuya suma es de \$ 6 8327 3671 incluido el arriendo.

**Tabla 42.** Inversión inicial.

Equipos	Gasto energético mensual	Reactivos	Mano de obra
Costo (COP)	\$ 180 736 102	\$ 485 061 184	\$ 7 367 727

**Fuente:** elaboración propia.

Finalmente, la inversión requerida para un año de funcionamiento de la empresa teniendo en cuenta equipos, instalación de equipos, área administrativa, reactivos, gasto energético y mano de obra es de \$ 6 211 186 930 COP.

**5.1.5 Precio comercial.** El material compuesto (aglomerado) cuenta con las características comerciales por lo que su precio de venta fue consultado en la empresa Homecenter para un aglomerado cuyas dimensiones son 18 mm espesor x 2440 mm x 1220 mm, <sup>117</sup>el valor estimado teniendo en cuenta que el aglomerado fabricado es más ancho será de \$ 394900 unidad, por lo que se estima una ganancia mensual de \$1 396 366 400 COP

<sup>117</sup> HOMECENTER. Precio aglomerado [en línea] [consultado el día 2 de junio 2019]. Disponible en: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/306026/Tablero-Gris-Labrado-Poliuretano-18-mm-244x122-cm/306026>

**5.1.6 Flujo de caja.** Para determinar el tiempo estimado para la recuperación de la inversión inicial se calculó el aumento anual en el precio, con el (IPC) este valor es de 3.31% para el año en curso, sin embargo, este valor cambia anualmente, pero para la proyección del proyecto se tomará constante por lo siguiente 5 años, en la **Tabla 43** se muestra la proyección del costo del aglomerado.

**Tabla 43.** Proyección del costo del aglomerado a 5 años

<b>Año</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
Costo (und.) aglom.	\$394 900	\$407 971	\$421 475	\$435 426	\$449 838	\$464 728

**Fuente:** elaboración propia.

**5.1.6.1 Flujo de efectivo.** Para una recuperación del 940,04 kg/día de residuo se muestra el flujo efectivo evaluado a 5 años y una tasa de 2.16 % esto es mostrado en la **Tabla 44.**

**Tabla 44.** Flujo de caja

<b>Flujo de caja</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ingresos netos	\$ 16,756,396,800	\$ 17,311,025,472	\$ 17,884,027,200	\$ 18,475,996,032	\$ 19,087,526,016	\$ 19,719,338,496
Total ingresos netos	\$ 16,756,396,800	\$ 17,311,025,472	\$ 17,884,027,200	\$ 18,475,996,032	\$ 19,087,526,016	\$ 19,719,338,496
Costo de inversion	\$ 6,211,186,930					
Gastos financieros	\$ -	\$ 621,118,693	\$ 519,229,850	\$ 407,350,985	\$ 295,475,351	\$ 148,910,758
Gastos de depreciacion	\$ -	\$ 621,118,693	\$ 621,118,693	\$ 621,118,693	\$ 621,118,693	\$ 621,118,693
Gasto por impuesto de renta (33% )	\$ -	\$ 5,300,000	\$ 1,749,000	\$ 577,170	\$ 190,466	\$ 62,854
Abono a capital	\$ -	\$ 101,711,049	\$ 111,878,879	\$ 123,066,766	\$ 135,373,444	\$ 148,910,789
Total costos	\$ 6,211,186,930	\$ 728,129,742	\$ 734,746,572	\$ 744,762,629	\$ 756,682,604	\$ 770,092,336
Flujo de caja neto	\$ 6,211,186,930	\$ 16,582,895,730	\$ 17,149,280,628	\$ 17,731,233,403	\$ 18,330,843,412	\$ 18,949,246,160

**Fuente:** elaboración propia.

VPN= \$ 7 777 291 731

El Proyecto logra aprovechar el 100% de la demanda de banner diaria generada, de acuerdo al indicar resultante VPN valor presente neto resultante del proceso de evaluación financiera, se puede determinar que, bajo las condiciones del proceso y las suposiciones establecidas el proyecto resulta ser viable al generar un VPN mayor a cero.

## 5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ESTIMADA PARA LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO

A continuación, se muestran los costos asociados a la implementación de la planta teniendo en cuenta los trabajadores necesarios, el área requerida y los equipos necesario, para llevar a cabo la separación por disolución selectiva.

**5.2.1 Costos de equipos y reactivos.** En el proceso de aprovechamiento químico, se manejaron los costos asociados a los equipos del proceso mostrados en la **Tabla 45** y los costos de reactivos asociados a la producción diaria mostrados en la **Tabla 46**. Ambas tablas presentan el costo en dólares y su respectivo valor en pesos colombianos.

**Tabla 45.** Equipos necesarios para el desarrollo de la propuesta

<b>Equipos</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo (COP \$)</b>
Tanque de lavado	3 000	\$ 9 890 610
Horno secado	2 100	\$ 6 923 427
Molino	900	\$ 2 967 183
Tamizador línea vibratoria	500	\$ 1 648 435
Tanque de mezclado 1	610	\$ 2 011 091
Centrifuga	5 000	\$ 16 484 350
Spray dryer	10 700	\$ 35 276 509
Tanques de almacenamiento líquidos	6 000	\$ 19 781 220
Tanques de almacenamiento solidos	10 000	\$ 32 968 700
<b>Costo total</b>	<b>38 810</b>	<b>\$ 127 951 525</b>

**Fuente:** elaboración propia.

El costo asociado a la instalación de los equipos es el 10% del valor total de los equipos es decir \$ 12 795 152 COP.

**Tabla 46.** Reactivos necesarios para el desarrollo de la propuesta en un mes de funcionamiento.

<b>Equipos</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Costo (COP \$)</b>
Xileno	459	\$ 1 516 375
<b>Costo total</b>	459	\$ 1 516 375

**Fuente:** ProquimicasJG.Xileno. [Consultado el día 20 de mayo 2019].

**5.2.2 Costos de mano de obra.** Como se observa el costo total de inversión en equipos y de reactivos calculado es de \$ 142 263 052 COP; adicional a esto se requiere calcular el costo por mano de obra con valor de \$1.475.345,46 por operario conforme al salario mínimo legal vigente más prestaciones sociales de ley para cada operario, esto se muestra en la **Tabla 47**.

**Tabla 47.** Gastos de mano de obra mensual.

<b>Ítem</b>	<b>Costo (\$ COP)</b>
Salario	\$ 925 148
Vacaciones	\$ 38 547
Cesantías	\$ 77 095
Intereses a las cesantías	\$ 770
Prima de servicios	\$ 77 095
Subsidio de transporte	\$ 97 032
Pensión	\$ 111 017
Dotación	\$ 120 000
ARL y riesgos	\$ 78 637
TOTAL	\$ 1 475 345
TOTAL (5 operarios)	\$ 7 472 672

**Fuente:** elaboración propia.

**5.2.3 Costos de terreno.** Conforme al tamaño de los equipos el área requerida para la instalación de la planta total es de 112,26 m<sup>2</sup> como se observa en la **Tabla 48**.

**Tabla 48.** Área requerida para la instalación de la planta.

<b>Equipos</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>
Tanque de lavado	9,60
Remoción de partes metálicas	4,00
Horno secador	1,79
Molino	8,40
Tamizador línea vibratoria	0,87
Tanque de separación	0,52
Centrifuga	0,56
Spray dryer	10,80
Tanques de almacenamiento líquidos	56,04
Tanques de almacenamiento solidos	19,67
<b>Área total</b>	<b>112,26</b>

**Fuente:** elaboración propia.

El área mostrada anteriormente solo toma en cuenta el área empleada para la planta de producción y a ésta hay que sumarle el área ocupada por el manejo administrativo que equivale a un 15% de la anterior siendo esta 16,83 m<sup>2</sup>, para un área total de 129,10 m<sup>2</sup>. Para mostrar un costo de arriendo equivalente se buscó una bodega en la ciudad de Bogotá como se realiza en el **Ítem 5.1.3** de igual forma en este Ítem se muestra el requerimiento de transporte. Para el área administrativa se dispondrán \$50'000.000 COP

**5.2.4 Gasto energético.** Empleando los balances de energía mostrados en el capítulo anterior, se calculó el costo energético con la **Ecuación 8** que arroja el costo en pesos de KW/día para cada equipo, para realizar este cálculo se tomó el consumo medio por estrato en \$/KWh que equivale a 567.1362<sup>102</sup> y se cataloga en la modalidad E5 y E6 industrial y comercial. En la **Tabla 49** se muestran los resultados del gasto energético mensual.

**Ecuación 8.** Cálculo del costo energético. <sup>110</sup>

$$\frac{COP}{KWh} = Q(Wh) * \frac{567.1362 \left( \frac{COP}{KWh} \right)}{1000 Wh}$$

**Tabla 49.** Gasto energético mensual asociado a equipos

Equipos	Energía (W)	Gasto energético diario	Gasto energético mensual
Tanque de lavado	7 000	\$ 7 940	\$ 206 438
Horno secado	1 800	\$ 16 334	\$ 424 672
Molino	37 000	\$ 268 596	\$ 6 983 488
Tamizador zenit	500	\$ 567	\$ 14 746
Tanque de separación centrifuga	970	\$ 4 401	\$ 114 425
Spray dryer	2 200	\$ 4 991	\$ 129 761
	18 000	\$ 163 335	\$ 4 246 716
	<b>Gasto energético total</b>	<b>\$ 466 163</b>	<b>\$ 12 120 245</b>

**Fuente:** elaboración propia.

En la **Tabla 50** se muestran los gastos totales asociados a la implantación de los equipos y gastos de un mes de producción cuya suma es de \$ 3 5183 960 COP

**Tabla 50.** Inversión inicial.

Equipos	Gasto energético mensual	Reactivos	Mano de obra	
Costo (COP)	\$ 140 746 677	\$ 12 120 245	\$ 1 516 375	\$ 7 472 673

**Fuente:** elaboración propia.

**5.2.5 Precio comercial.** El material resultante PVC y PET cuenta con algunas de las características de venta por lo que se espera que puedan ser vendidos a \$ 1 318 748 COP por tonelada de PVC reciclado <sup>118</sup>y el PET se estima un precio de venta de \$ 131 874 COP por tonelada. Se estima una ganancia mensual de \$ 16 066 306 COP.

**5.2.6 Flujo de caja.** Para determinar el tiempo estimado para la recuperación de la inversión inicial se calculó el aumento anual en el precio con el (IPC) este valor es de 3.31 %, para este proyecto se tomará constante. En la **Tabla 51** se muestra la proyección del costo del aglomerado.

---

<sup>118</sup> ALIBABA. Precio PVC reciclado [en línea] [ consultado el día 2 de junio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-pipe-grade-pvc-sg5-sg8-k65-k67-pvc-resin-recycled-pvc-granules-pvc-pellet-price-60751096665.html?spm=a2700.8699010.29.2.a2a47fdcwEV7d>

**Tabla 51.** Proyección del costo del aglomerado a 5 años

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Costo ton		\$	\$	\$	\$	\$
PET	\$ 131874	136239	140749	145407	150220	155193
Costo ton	\$	\$	\$	\$	\$	\$
PVC	1318748	1362399	1407494	1454082	1502212	1551935
Costo	\$	\$	\$	\$	\$	\$
polimeros	1450622	1498638	1548242	1599489	1652432	1707128

**Fuente:** elaboración propia.

**5.2.6.1 Flujo de efectivo.** Para una recuperación del 940,04 kg / día de residuo se muestra el flujo efectivo evaluado a 5 años y una tasa de 2.16 % esto es mostrado en la **Tabla 52.**

**Tabla 52.** Flujo de caja

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Ingresos netos	\$ 170,309,500	\$ 175,946,793	\$ 181,770,642	\$ 187,787,150	\$ 194,002,895	\$ 200,424,450
Total ingresos netos	\$ 170,309,500	\$ 175,946,793	\$ 181,770,642	\$ 187,787,150	\$ 194,002,895	\$ 200,424,450
Costo de inversión	\$ 394,058,193					
Gastos financieros	\$ -	\$ 39,405,819	\$ 32,951,244	\$ 25,851,213	\$ 18,751,388	\$ 9,450,140
Gastos de depreciación	\$ -	\$ 39,405,819	\$ 39,405,819	\$ 39,405,819	\$ 39,405,819	\$ 39,405,819
Gasto por impuesto de renta (33%)	\$ -	\$ 5,300,000	\$ 1,749,000	\$ 577,170	\$ 190,466	\$ 62,854
Abono a capital	\$ -	\$ 7,100,031	\$ 7,810,035	\$ 8,591,038	\$ 9,450,142	\$ 150,961,967
Total costos	\$ 394,058,193	\$ 51,805,851	\$ 48,964,854	\$ 48,574,028	\$ 49,046,427	\$ 190,430,640
Flujo de caja neto	-\$ 394,058,193	\$ 124,140,942	\$ 132,805,788	\$ 139,213,122	\$ 144,956,468	\$ 9,993,810

**Fuente:** elaboración propia.

VPN= \$ 58 877 901

El Proyecto logra aprovechar el 100% de la demanda de banner diaria generada, de acuerdo al indicador resultante VPN valor presente neto resultante del proceso de evaluación financiera, se puede determinar que, bajo las condiciones del proceso y las suposiciones establecidas el proyecto resulta ser viable al generar un VPN mayor a cero.



## 6. CONCLUSIONES

- En la etapa de determinación del tipo de PVC empleado se encontró que este correspondía a PVC flexible, puesto que propiedades como densidad, opacidad y resistencia a ácidos fuertes se cumplían para este tipo de PVC.
- Se determinó mediante el uso de un espectro FTIR que el poliéster presente en el banner correspondía a un poliéster tipo PET.
- Durante el proceso de caracterización de tinta esta puede ser removida con acetona y 2- etoxietanol pero debe llevarse a unas condiciones ideales (solución 90:10 , volumen 50ml, temperatura ambiente, tiempo:20 minutos y 5 – 10 % en peso de polímero y pH: 5- 9 temperatura: 25 °C, tiempo: 2 minutos y 80% de solvente, respectivamente) para no remover el PVC, También se determinaron los componentes principales de la tinta empleada en el banner como lo son la resina de acrilato, dietileno glicol y la presencia de grupos funcionales como éter aromático vinílico entre otros.
- La realización del material compuesto o aglomerado como alternativa de aprovechamiento mecánico permitió observar que, al tener mayor cantidad de banner, menor tamaño de partícula del mismo o realizar el aglomerado en una única mezcla se obtenían valores más altos de resistencia a la flexibilidad, indicando que aumentaba la fuerza que debía ser empleada para dañarlo.
- La evaluación del método químico mediante la implementación de un diseño factorial  $2^4$ , en el cual se estimó el comportamiento de la variable repuesta en cantidad de gramos de PVC y PET, determino mediante un análisis de varianza que el tamaño apropiado para la separación es de 4 mm x 4 mm y que el solvente adecuado es el xileno al 99.9 % de pureza a una temperatura cercana a la temperatura de ebullición.
- La producción a escala a un nivel industrial del aglomerado es posible y no generaría perdidas puesto que el VPN arroja un valor positivo de 7 777 291 731 COP .
- La implementación de la propuesta de aprovechamiento químico es viable debido a que el factor financiero VPN (valor presente neto) arrojó un resultado positivo de 58 877 901 COP es por esto que se debe ejecutar.

## 7. RECOMENDACIONES

- Cuando se obtuvieron los polímeros desde la disolución selectiva no fue posible realizar una caracterización propia de estos puesto que los precios que devengaban dichas pruebas no era posible costearlas, siendo así, se recomienda realizar un análisis termogravimétrico o una calorimetría diferencial de barrido que permite obtener las características propias de cada polímero.
- Puesto que en este proyecto no se tomaba en cuenta la eficiencia en extracción de la tinta, sino únicamente el análisis de los componentes de la tinta empleada, se recomienda buscar el diseño de experimentos y el solvente adecuado para llevar a cabo dicha función.
- Para aumentar la viabilidad del proyecto de aprovechamiento químico, se recomienda realizar un proceso de despolimerización química para el producto de PET extraído permitiendo así aumentar su precio comercial.

## BIBLIOGRAFIA

ACRILICOS. PVC acrílicos [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.acrilicos.com/blog/preguntas-frecuentes-de-la-lona-banner-superflex-13-onzas>

AGUADO, Jose.; P, David. Feedstock Recycling of Plastic Wastes. En : royal society of chemistry. 1999 pag 56-60

ALIBABA centrifuga. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/ultracentrifuges-62010223621.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.327.51d22b365KJMeA>

ALIBABA horno de secado. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/96-tray-200-kg-food-dehydrating-60655931866.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.81.171667d8O8bedl>

ALIBABA molino. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Plastic-recycling-pulverizer-recycled-plastic-pellet-1553330573.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.10.26fd6310MnigzV&s=p>

ALIBABA prensa hidráulica. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Custom-Design-Hydraulic-Presses-60788139193.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.34.60c853a8SB9ztE>

ALIBABA spray drier. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Good-Quality-centrifugal-spray-dryer-for-60785640549.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.22a34fe6hl3cjb>

ALIBABA tamiz doble cubierta. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/200-mesh-double-deck-food-vibration-60464550579.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.71.3ec26dbfA8Kah7>

ALIBABA tamiz línea vibratoria. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/linear-vibrating-screen-sieve-60102106501.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.12b4734cfsXbqk&s=p>

ALIBABA tanque de lavado. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019] Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6](https://spanish.alibaba.com/product-detail/sink-floating-washing-tank-with-roller-for-plastic-recycling-pet-flakes-floating-washing-tank-60412034015.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.2.596b37ddXvPAS6)

ALIBABA tanque de mezcla con calentamiento. [en línea]. [consultado el 5 de julio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Stainless-steel-beer-fermentation-tank-high-60789999928.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.53.638a1425oeM4rv>

ALIBABA tanque de mezcla. [en línea]. [consultado el 5 de julio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/PP-Mixing-Tank-with-Agitator-Blending-60800821446.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.29.6f62188chKXILI&s=p>

ALIBABA. Resina poliéster [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/unsaturated-polyester-resin-price-60804815055.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.6ab42d77mYz2Lo&s=p>

ALIBABA. polivinil alcohol [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Chinese-PVA-1799-polyvinyl-alcohol-100-60514241807.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.1.61a4731cXcvf9H>

ALIBABA. Precio PVC reciclado [en línea] [consultado el día 2 de junio 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-pipe-grade-pvc-sg5-sg8-k65-k67-pvc-resin-recycled-pvc-granules-pvc-pellet-price-60751096665.html?spm=a2700.8699010.29.2.a2a47fdcwIEV7d>

ALLTEX. Ventajas de polyester. [En línea] [consultado el 5 de octubre de 2018.] Disponible en: <http://www.alltex.com.co/ventajas-de-poliester>.

AMBIENTEBOGOTA. publicidad. [en línea]. [consultado el 25 de marzo 2019]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/publicidad-exterior-visual.-pev>

ANDERSONMATERIALES. Restricción FTIR [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.andersonmaterials.com/dsc.html>

ARAYA, Felipe.; GONZALEZ, Alvaro.; DELGADILLO,Rodrigo.; WAHR, Carlos.;GARCIA,Gabriel.; ZUÑIGA,Rogelio. Caracterización reológica avanzada de

betunes tradicionales y modificados. En : revista de ingeniería de construcción. Diciembre, 2012 pag 198-210

ARCLAD. Ionas banner [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.arclad.com/es/fichas-tecnicas/ionas-banner>

BANCO DE LA REPUBLICA. IPC [en línea] [consultado el día 2 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/indice-precios-consumidor-ipc>

BANCO DE LA REPUBLICA. TRM [en línea] [consultado el día 6 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/tasa-cambio-del-peso-colombiano-trm>

banner para valorar el product. T. saga, G. vaibhav (2018)

Bogotá D.C: Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2004.

BUITRAGO, Braian.; HENAO, Angela.; AYALA, Orlando.; MEJIA, Poseidon . Tableros de partículas de polvillo de aserrín reforzados con subproductos reciclados (TAR). En : sena centro tecnológico de mobiliario. octubre ,2012 pag 84-92

CASTRO, Diego. ASTM D1037-12 - Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials . en: ASTM designation. 2006 pag 1-16

CEDEXMATERIALES. Residuos plásticos [ en línea] [consultado el 17 de abril 2019] Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html>

Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate) using sulfuric acid Zaki A. ( 2012)

CHEMISTRY OF INKJET INKS, The. Singapore: World Scientific. Magdassi, S. (2010).

CHEMOSPHERE. Solbent- based separation and recycling of waste plastics. Yi-bo Z. Xu-dong L. (2017)

CJARDON.Box - pierce [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019]<http://cjardon.webs.uvigo.es/Transparencias/Unidad5.pdf>

CLEANER PRODUCTION. Recycling polymeric multi-material products through micronization. Elisa G.Ashton.Volumen 116. Pág. 268-278 (2016)

CLICKPRINTING. Lona mesh [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.clickprinting.es/blog/tipos-de-lonas-publicitarias-que-existen>

CLICKPRINTING. Trama y urdimbre [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.clickprinting.es/>

COLORMAKE. Tinta eco-solvente [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://colormake.com/una-tinta-eco-solvente/>

COMPASS.ASTM. Norma resistencia a la tensión materiales compuesto innovación [ en línea] [ citado el día 17 de abril del 2019]. Disponible en <https://compass.astm.org/CUSTOMERS/search/VIEW/web/viewer.html?file=D4442.39638.pdf>

comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC Fredy Alberto (2013)

COMPROMISOECO. Conoce cuánto tarda en degradarse los materiales. [en línea]. [consultado el 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://compromisoeco.com.ar/residuos/conoce-cuanto-tardan-en-degradarse-los-materiales/>.

COPFORDPRC. Metodología pugh [en línea] [consultado el 15 de abril 2019]. Disponible en: <http://copfordprc.com/software/>

COPRODI. Lona front [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://coprodi.com.ar/lonas/lona-front/>

COPRODI. PVC/PET banner [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019], Disponible en: <https://coprodi.com.ar/lonas/pvc-pet-banner>

CORDIS.EUROPA.EU. Materiales de innovación [ en línea] [ consultado el día 17 de abril 2019]. Disponible en: [https://cordis.europa.eu/project/rcn/97292\\_es.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/97292_es.html)

Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites Daniel. N (2019)

Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites. Composites Part B: Engineering. Rocha, D. B., & Rosa, D. dos S. (2019).

DANE. Encuesta anual manufacturera [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>

DANE. Producción Dane [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en [http://frmweb.dane.gov.co:8001/CPCV2-ViewController-context-root/faces/producto.jspx?\\_adf.ctrl-state=oyeocukaw\\_7](http://frmweb.dane.gov.co:8001/CPCV2-ViewController-context-root/faces/producto.jspx?_adf.ctrl-state=oyeocukaw_7)

DEPA.FQUIM. Composición tinta [en línea]. [consultado el 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tabla\\_de\\_IR\\_20785.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tabla_de_IR_20785.pdf).

desarrollo de un material compuesto plástico (pp)-madera (aserrín) usando materias primas de reuso Arturo B. (2008)

DISEÑO DE INDUMENTARIA. Trama [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://diseñodeindumentaria2.files.wordpress.com/2008/04/tejidos-de-caladapdf.pdf>

ECODISEÑOY.informe aido tintas. [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019] Disponible en:<http://www.cigcv.com/rs/114/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/1da/fd/1/filename/da060095-informe-aido-tintas.pdf>

EDUTECNE. Craqueo térmico [en línea] [consultado el 17 de abril de 2019] Disponible en: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/PPI-CAI/ppi2016\\_trabajo.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/PPI-CAI/ppi2016_trabajo.pdf).

ELECTRICAPLICADA. KW - KWH [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://www.electricaplicada.com/significa-diferencia-kw-kwh-explicados/>

ENEL. Tarifario [en línea]. [consultado el 2 junio de 2019]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espac3%B1ol/personas/1-17-1/2019/Tarifario-enero-2019.pdf>

ESTUDIO Y ENSAYO. Densidad, resistencia [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://estudionyensayo.files.wordpress.com/2008/11/pvc.pdf>,

EUROPEAN PATENT SPECIFICATION. A method for recovering polymer from printed PETG substrates. Inventor Piesowicz,elzbieta, EP 2 987 822 B1, 23 de agosto del 2014 [Consultado el 25 de marzo de 2019] Disponible en:

<https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20180606/patents/EP2755987NWB1/document.pdf>

FCNYM Supuestos anova [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019]<https://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/estadistica/ANOVA.pdf>

FORMULARIOS DANE. Campañas publicitarias [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://formularios.dane.gov.co/encuestas/eam/mostrar2.php?Years=2002&cadena bus=&todos=todo&actoper=perso&x=28&y=11>

FORMULARIOS DANE. Cantidad de empresas en Colombia [en línea] [consultado el día 20 de mayo 2019]. Disponible en <http://formularios.dane.gov.co/encuestas/eam/mostrar2.php?Years=2002&cadena bus=&todos=todo&actoper=perso&x=40&y=6>.

GAITAN,Alexander.; FONTHAL, Gerardo.; ARIZA, Hernando. Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata. En : revistas de ciencias técnicas agropecuarias. Marzo,2016. Vol 25.

GEYER.Production, use, and fate of all plastics ever made: Science Advances (2017).

GONZALES, Jesus.; PINGARRON, Arturo. DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO PLÁSTICO (PP)-MADERA (ASERRÍN) USANDO MATERIAS PRIMAS DE REUSO. En: 14 Congreso Internacional Anual de la SOMIM 2008. Septiembre,2008, pag 91-99

HANDBOOK OF POLYMER COATINGS FOR ELECTRONICS - CHEMISTRY, TECHNOLOGY AND APPLICATIONS. Polyester. Licari, J.J. Hughes, L.A. (1990).

HISOUR. Despolimerización de plásticos [en línea] [consultado el 17 de abril 2019] Disponible en: <https://www.hisour.com/es/thermal-depolymerization-41131/>.

HEMOCENTER. Precio aglomerado [en línea] [consultado el día 2 de junio 2019]. Disponible en: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/306026/Tablero-Gris-Labrado-Poliuretano-18-mm-244x122-cm/306026>

HWMARUCE. normalidad [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019] [http://hemaruce.angelfire.com/Unidad\\_III.pdf](http://hemaruce.angelfire.com/Unidad_III.pdf)



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INTEREMPRESAS. Peso molecular [en línea]. [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/110823-Influencia-del-peso-molecular-en-las-propiedades-del-PVC-molecularmente-orientado.html>

ISO.ORG. norma 13934-1 del 2013 [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/60676.html>

ISO.ORG. norma 3801 de 1997 [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/9335.html>

ISO.ORG. Norma resistencia a desgarre [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/35179.html>

ISOTOOLS. Normas ISO. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.isotools.org/normas/>.

ISOTOOLS. Normas ISO. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.isotools.org/normas/>.

Jiménez Isabel, La fuerza de la madera en los plásticos, Artículo Tecnología del Plástico, Edición 6-Vol 20-Julio/agosto 2005.

LENNTECH. Estructura PVC [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019] <https://www.lenntech.es/polyvinyl-chloride-pvc.htm>

LORKINDUSTRIAS. PVC flexible [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.lorkindustrias.com/pvcflexible.html>

LUZANA L. Study of the feasibility of producing modified asphalt bitumens using flakes made from recycled polymers. 2019.

M. OLIVARES. características y aplicaciones en la edificación. EN: LOS COMPOSITES s.f

MAGDASSI, S INK REQUIREMENTS AND FORMULATIONS GUIDELINES. En: The chemistry of inkjet inks: World Scientific. 2010

MALVERNANALYTICAL. Análisis calorimetría diferencial de barrido. [en línea]. [consultado el 20 de mayo 2019]. Disponible en: <https://www.malvernanalytical.com/es/products/technology/microcalorimetry/differential-scanning-calorimetry>

MARIANA. A POLYVINYLCHLORIDE (PVC) and natural rubber films plasticized with a natural polymeric plasticizer obtained through polyesterification of rice fatty acid. 2011

MARIELA, E. poliésteres insaturados a partir de desechos de pet. 2002

MEHDI S. GHOLAM R. Recycling of PVC waste. EN:POLYMER DEGRADATION AND STABILITY. 2010

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. red justicia ambiental Colombia. Bogotá D.C: Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2004.

MINISTERIO DE JUSTICIA. Tramites-Ministerio de justicia [en línea] [consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/Ciudadano/Tramites/Control%20de%20Administraci%C3%B3n%20para%20el%20manejo%20de%20sustancias%20qu%C3%ADmicas.pdf>

ONLINEPRINTFILE.Procesos de impresión [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://onlineprintfile.com/knowledge/PrintProcesses.pdf>.

PRINTING INK. Formulations, Alexandra P and Veronika H.

PRINTU. Banner parte metálica [en línea] [consultado el día 17 de abril 2019]. Disponible en: [https://www.printu.co/pendones?gclid=CjwKCAjw\\_YPnBRBREiwAIP6TJzoMr7T\\_OAADWfGwW0ZjN0aZ\\_26ZvYIsA--x8R6TKFsqJRB7srz81xoCY-oQAvD\\_BwE](https://www.printu.co/pendones?gclid=CjwKCAjw_YPnBRBREiwAIP6TJzoMr7T_OAADWfGwW0ZjN0aZ_26ZvYIsA--x8R6TKFsqJRB7srz81xoCY-oQAvD_BwE)

QUIMINET. Fibras vegetales. [en línea]. [Consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/fibras-vegetales-1626241145/precios.htm>

QUIMINET. Reina urea. [en línea]. [Consultado el 17 de abril 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/resina-urea-formaldehido-41772200878/precios.htm>

RAMESH. S. FTIR studies of PVC/PMMA blen based polymer electrolytes. EN: SPECTROCHIMICA 2007

RANGEL, Leidig.;MORENO,Pablo.; TREJO, Shakespeare.; VALERO,Styles. PROPIEDADES DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS FABRICADOS CON MADERA DE Eucalyptus urophylla. En: madera ciencia y tecnología. Abril,2017, pag 373-386

REDALYC pirolisis [en línea] [consultado el 17 de abril de 2019]<http://www.redalyc.org/jatsRepo/4760/476051461008/html/index.html>.

Reyes, Fredy.;GUAQUETA, Catalina.;PORRAS, Laura.; RONDON, Hugo. Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. En: revista de ingeniería universidad de medellin. Mayo,2013, pag 75-84.

ROCHA, Daniel.; SANTOS, Derval. Efecto de acoplamiento de fibras recubiertas de almidón para polímeros reciclados / compuestos de madera. En : Compuestos parte B: ingeniería. Septiembre, 2019 pag 1-8.

SADAT, M. Reciclaje de residuos de PVC. 2010.

SADAT, S. polimeros degradación y estabilidad. 2011

SBWEB. Fisca y fluidos [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/aerometro/aerometro.htm>

SCHASCHKE, Carl. Dictionary of Chemical Engineering – pyrolysis. En: Oxford university press. 2014,pag 20-38

SEDIGHEH, H.; HOSSEIN, M. Improving the conductivity of polyaniline- coated polyester textile. En: optimizing the synthesis conditions., 2015.

SHUKLA,Vipin.; BAJPAI, Madhu. OVERVIEW ON BASIC CHEMISTRY OF UV-CURING TECHNOLOGY. En: pigmentos y tecnología de resina. Octubre, 2004, pág. 272-279.

SIGNSUPPLY. Tinta eco-solvente [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://sitio.signsupply.com.co/english/wp-content/uploads/2015/02/DX5-ECO.pdf>

SIGNTRADE. Tinta T51 [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [http://signtrade.ch/images/msds/spanish/msds\\_Topaz\\_T51\\_ES.pdf](http://signtrade.ch/images/msds/spanish/msds_Topaz_T51_ES.pdf)

SISTEMAS. Normas DIN. [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://sistemas.com/normas-din.php>

SKYCOLORS. Lona blackout [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://skycolors.com.co/pdf/banner%20doble%20cara.pdf>

SOFTWARE. Supuesto de homogeneidad de varianza [ en línea] consultado el 20 de mayo de 2019]<https://vivaelssoftwarelibre.com/test-de-bartlett-para-contrastar-la-homocedasticidad-de-mas-de-2-muestras-usando-r-commander/>

SPRINGER. Hudd, A. The printing ink manual. En: INK E JET INKS. 2008.

SPSERVICIOSGRAFICOS. Lonas publicitarias [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.spserviciosgraficos.com/blog/tipos-de-lonas-publicitarias/>

T. SAGA, G. VAIBHAV. Enfoque rentable y sostenible para transformar el vinilo al final de su vida útil banner para valorar el product. 2018

TEXTILES-TEAR PROPETIES OF FABRICS [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://archive.org/details/gov.in.is.6489.1.2011>

TEXTOSCIENTIFICOS. Estructura de polímeros [en línea] [consultado el día 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/estructra>,

TEYCSA. Norma ASTM [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.teydsa.com/files/astmnorma.pdf>

TEYCSA. Norma peso de fabricación [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.teydsa.com/files/astmnorma.pdf>.

UNITED STATES PATENT. METHODS FOR REMOVING INK FROMA POLYMERIC SUBSTRATES. Inventor Ajit K. 5,634,405, 3 de junio del 1997 [Consultado el 25 de marzo 2019] Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/26/de/7e/a7dfcfc41f26f/US5634405.pdf>

UNITED STATES PATENT. POLYMER RECYCLING BY SELECTIVE DSSOLUTION US52782A [en línea]. Inventor: E. Bruce Nauman, Schenectady; Jerry C. Lynch, Scotia, both of N.Y. enero 11 de 1994 [Consultado: 17 de abril de 2019]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US5278282A/en?q=5%2c278%2c282>

UPCOMMONS. Norma resistencia a rotura [en línea]. [citado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

UPCOMMONS. Resistencia a la rotura [en línea]. [consultado el 10 de abril de 2019]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

UPV. Punto de fusión. [en línea]. [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html)

VELANDIA, Javier. Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja. En : revista ONTARE-Facultad de ingeniería de la Universidad Escuela de administración de negocios. Octubre, 2017, pág. 115-140

# **ANEXOS**

## ANEXO A.

### FICHA TÉCNICA PAPELES ADHESIVOS (ADH), BANNER 13 ONZAS



BANNER FLEX DE 13 ONZ (300 D X 500 D)

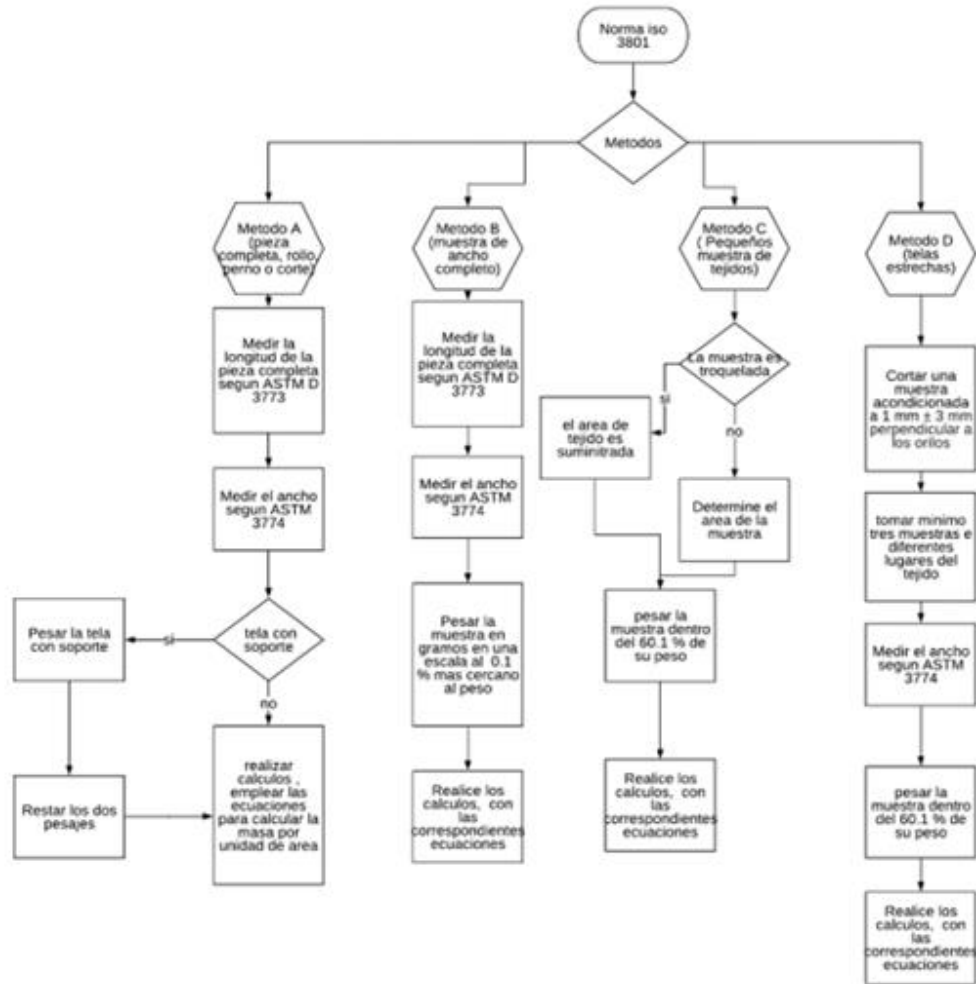
ITEM	VALUE	UNIT	TEST METHOD
Fabric	(usual tenacity yarns) 100%PES(300d*500d)		DIN EN ISO2060
construction	18*12 Warp knitting 18*12	INCH	DIN60001
weight of fabric	57	gsm	DIN53352 BS3424method5B
weight of pvc coating	383	gsm	DIN53352 BS3424 method5B
breaking strength	warp: 635 weft: 451	N/SCM	DIN53354 BS3424method6A
tear strength	warp: 125 weft: 107	N	DIN53356 BS3424method7A
adhesion	50	N/SCM	DIN53357 BS3425 method9B
suitable temperature	-10 -----+70	C	DIN53357 BS3425 method10
Lacquering	If the clients need Products can be reach:3555(Acrylic), 3483(Acrylic),7584(PVDF)		
Flammability	If the clients need, products can be reached :DIN75200,B1,B2,NFPA701		
Cd% ,Pb%,As%,Ba%, Cr%,Hg%,Se%	If the clients need, we can reach EN71-3: Cd% <100ppm,Pb%<90ppm,As%<25ppm,Ba%<1000ppm Cr%<60ppm,Hg%<60ppm,Se%<500ppm		

## ANEXO B.

### FICHA TÉCNICA SKY COLOR, BANNER 13 ONZAS.

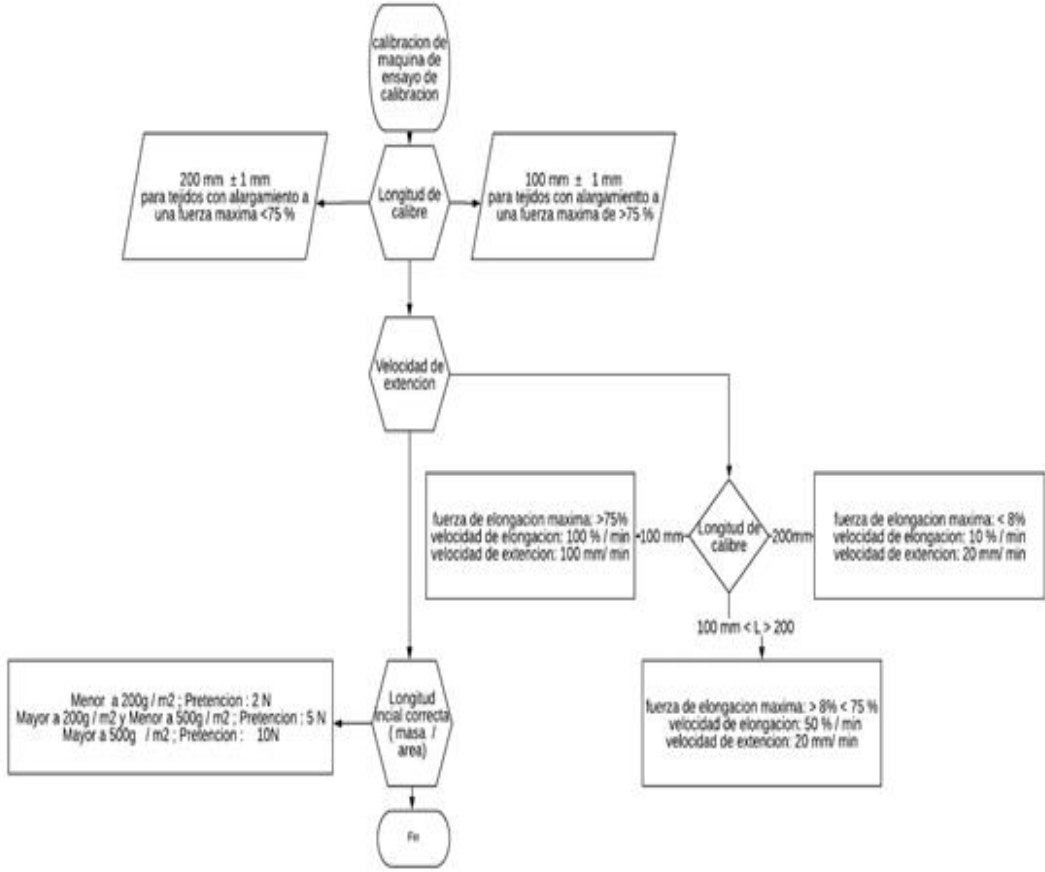
BANNER 13 Oz			
	Peso:	440 gr	
	Base:	300 x 500	
	Hilados:	18 x 12	
	Tipo:	Brillante	
		Matte	
	Medidas:	0,8m - 0,9m	
		1,02m - 1,22m	
		1,37m - 1,52m	
		1,60m - 1,80m	
		2,00m - 2,20m	
2,50m - 2,80m			
3,20m			
Largo Rollo	50 Mts		
<b>Características</b>		Temperatura	- 30 C° a 70 C°
Para uso de tipo publicitario en interior y exterior, gran resistencia al impacto y larga vida de servicio, con excelente elasticidad y buena maniobrabilidad, para uso en impresoras Eco solventes, solventes, UV, Látex. etc.		Resistencia al rasgado:	700N / 5cm
		Adhesión	60 N/5cm

**ANEXO C.  
DIAGRAMA, MODO DE OPERACIÓN NORMA ISO 3801 Y SUS RESPECTIVOS  
MÉTODOS DE ENSAYO.**



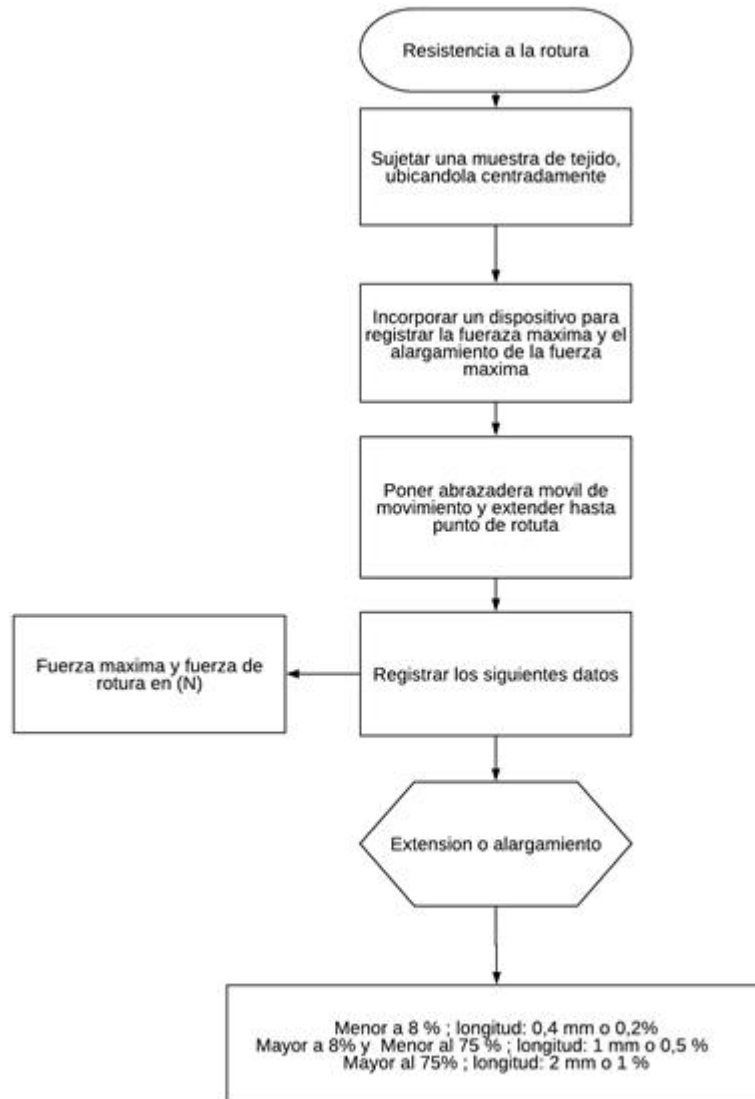


**ANEXO D.  
DIAGRAMA DE CALIBRACIÓN E IMAGEN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO DE TRACCIÓN.**



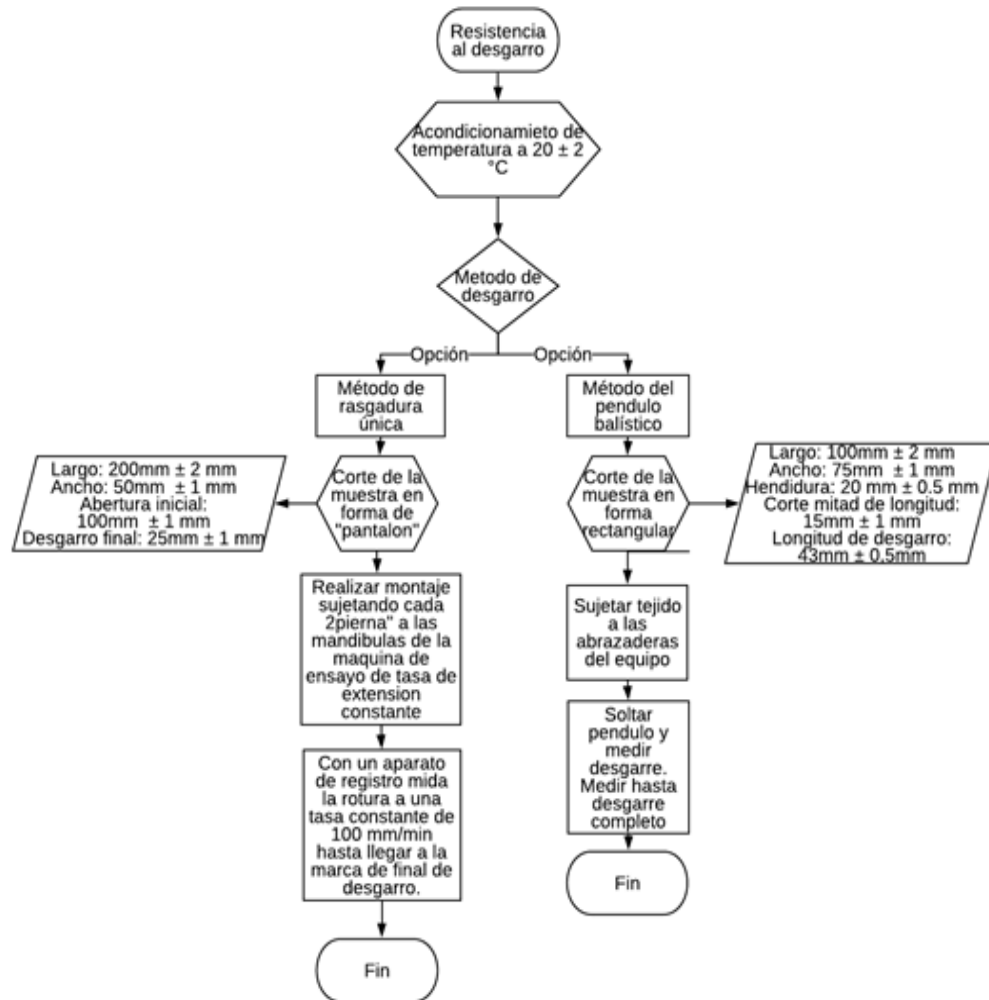
## ANEXO E.

### DIAGRAMA DE OPERACIÓN ENSAYO RESISTENCIA A LA ROTURA.



## ANEXO F.

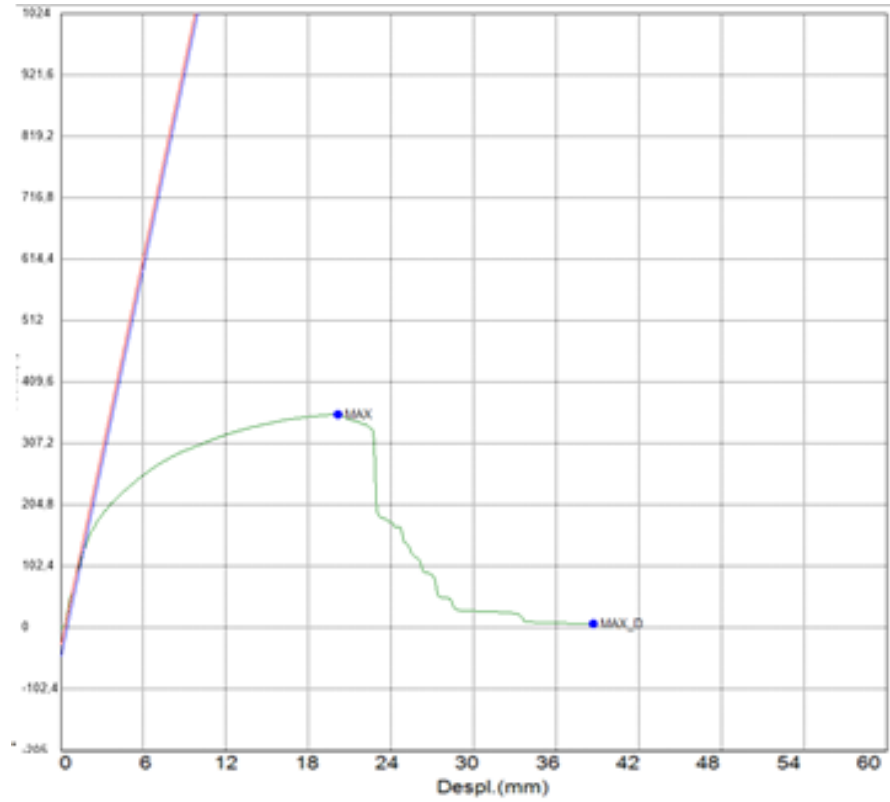
### DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE RESISTENCIA AL DESGARRO.



## ANEXO G.

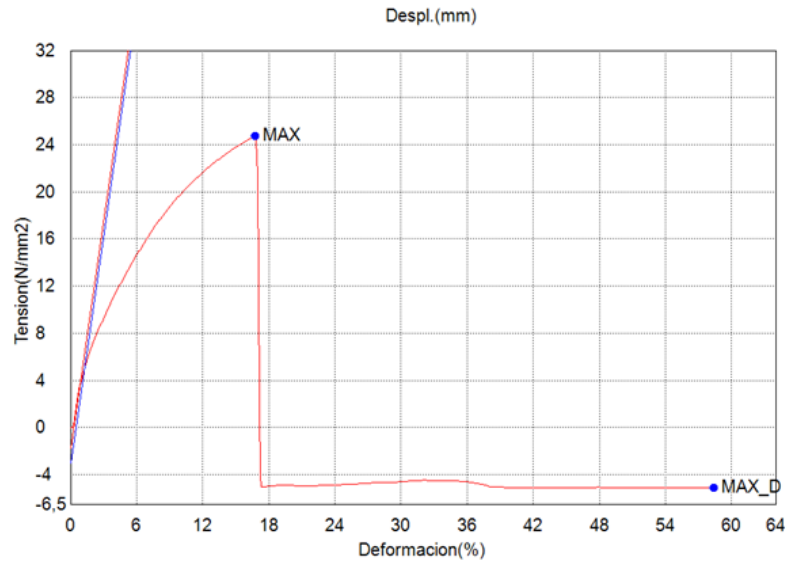
### RESISTENCIA A LA ROTURA EN CANTIDAD DE FUERZA APLICADA POR DESPLAZAMIENTO EN MILÍMETROS PARA LOS TIPOS DE BANNER.

Banner brillante a través de la trama.

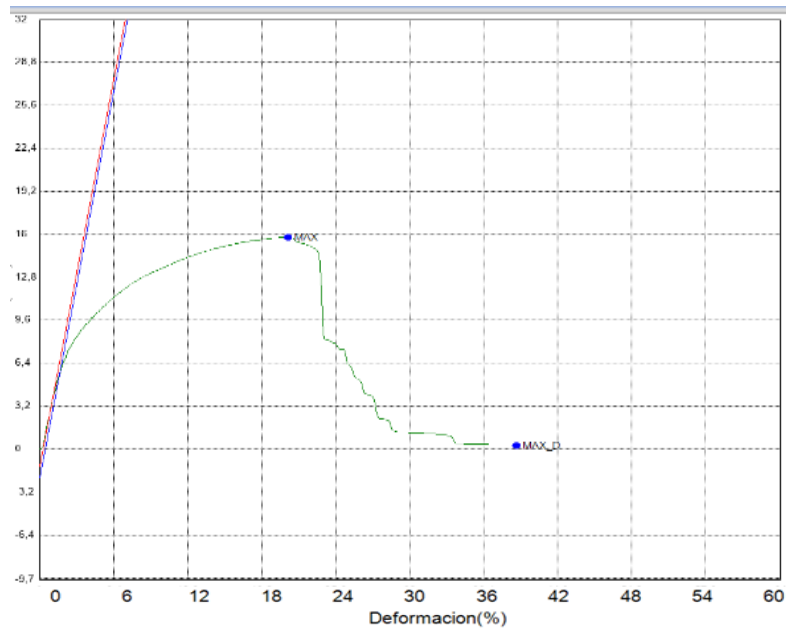


## ANEXO H. RESISTENCIA A LA ROTURA, DEFORMACIÓN PRESENTADA POR CANTIDAD DE TENSIÓN APLICADA PARA LOS TIPOS DE BANNER.

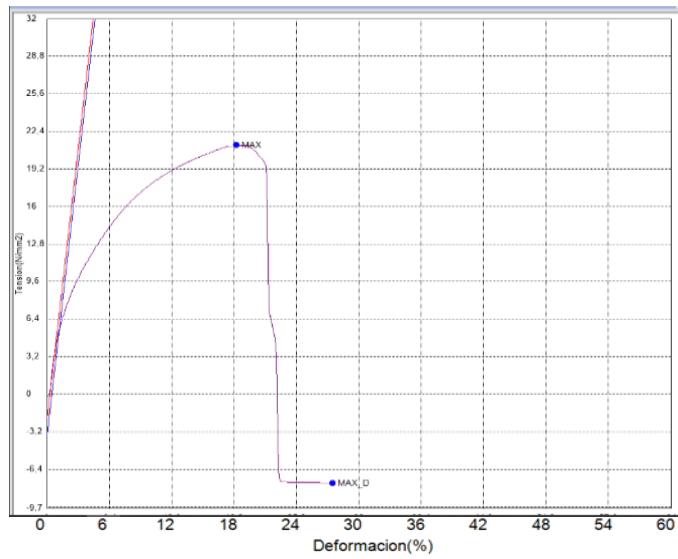
Banner brillante a través de la urdimbre.



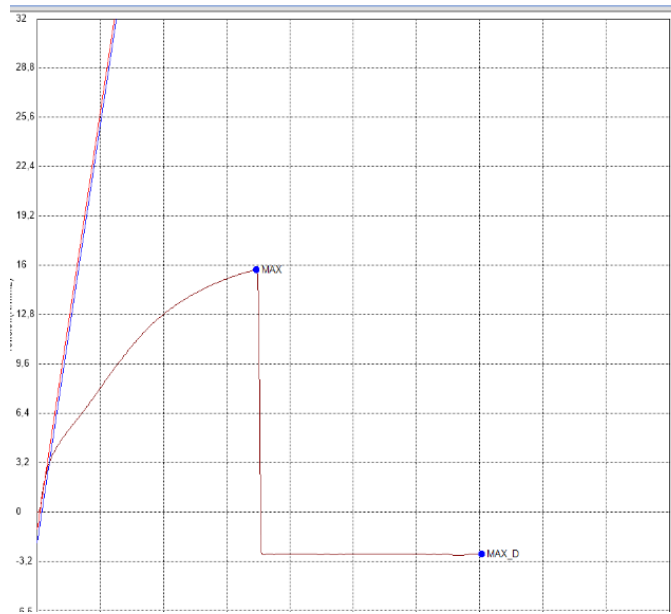
Banner brillante a través de la trama.



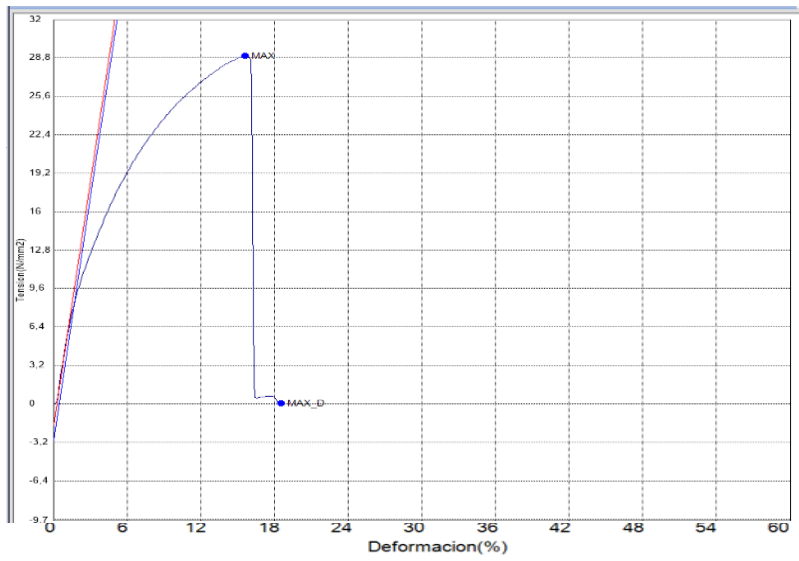
Banner reciclado tipo brillante a través de la urdimbre.



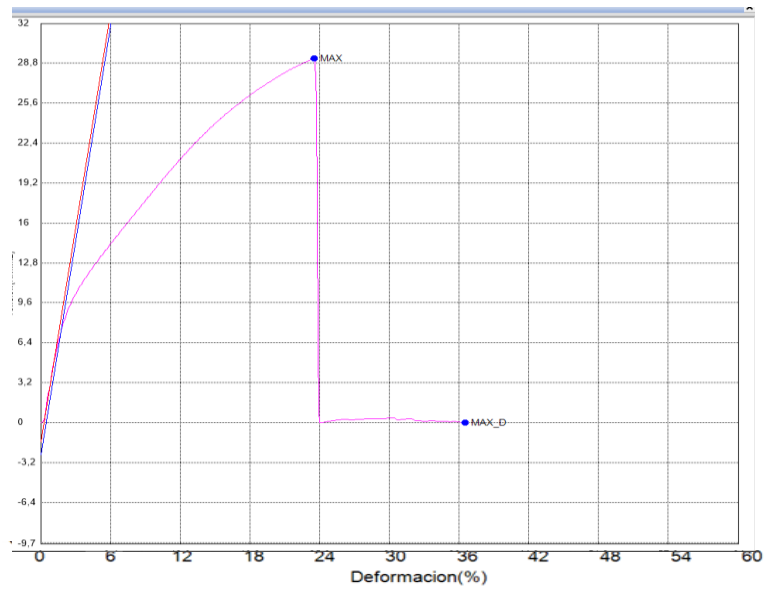
Banner reciclado tipo brillante a través de la trama.



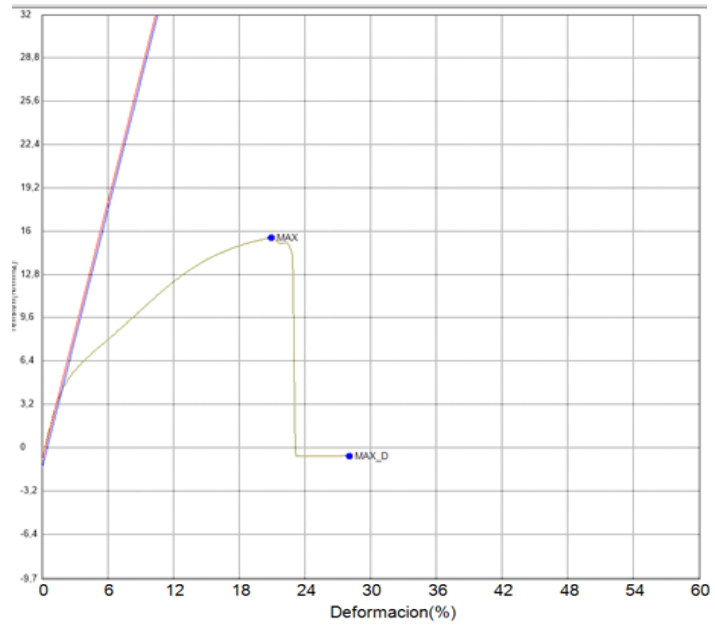
Banner tipo mate a través de la urdimbre.



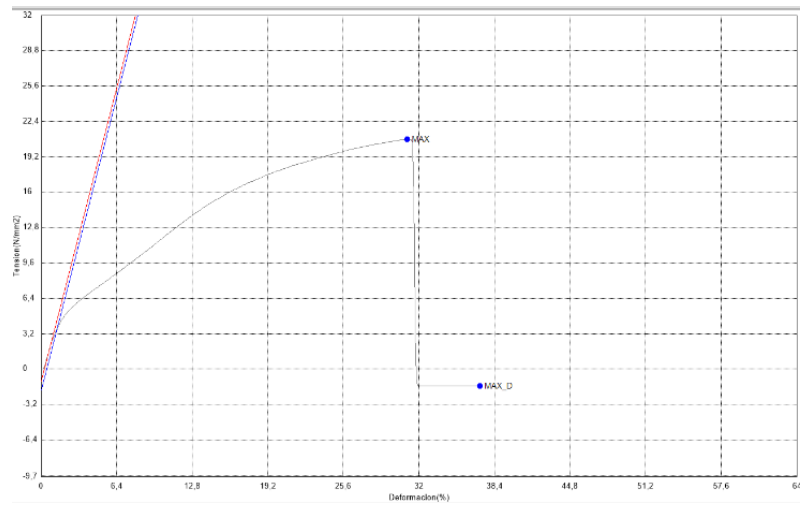
Banner tipo mate a través de la trama.



### Banner reciclado tipo mate a través de la urdimbre.



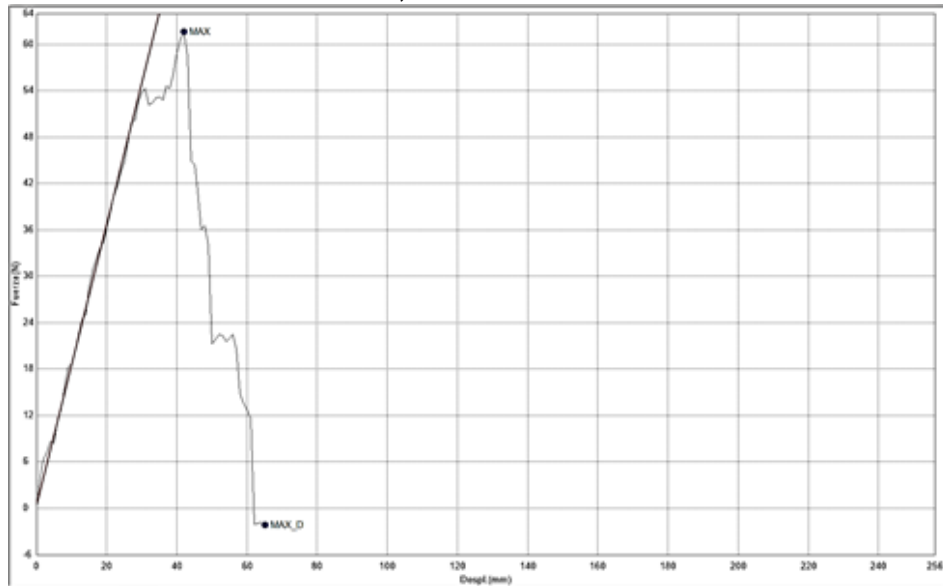
### Banner reciclado tipo mate a través de la trama.



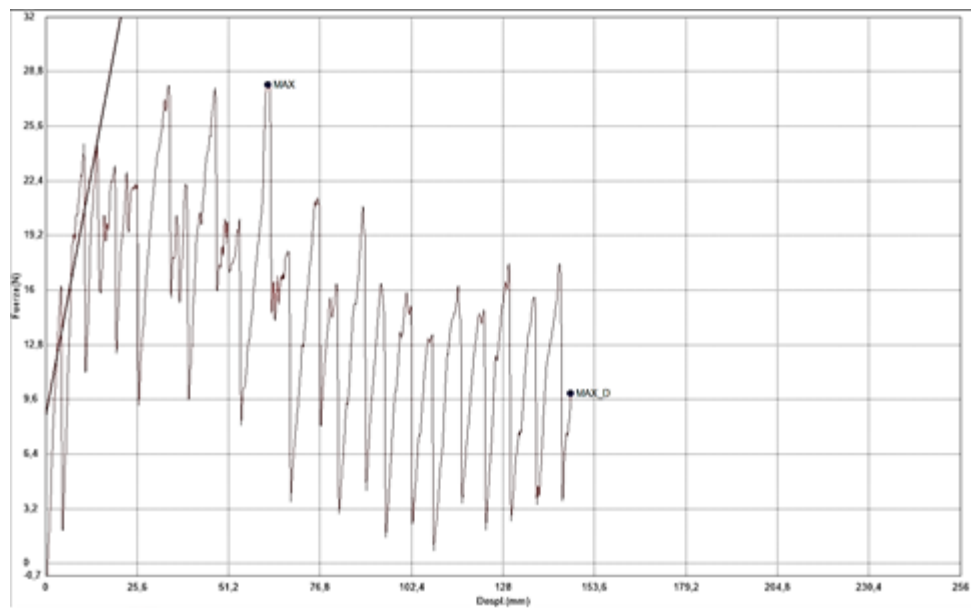


# ANEXO I. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN, RESISTENCIA AL DESGARRO.

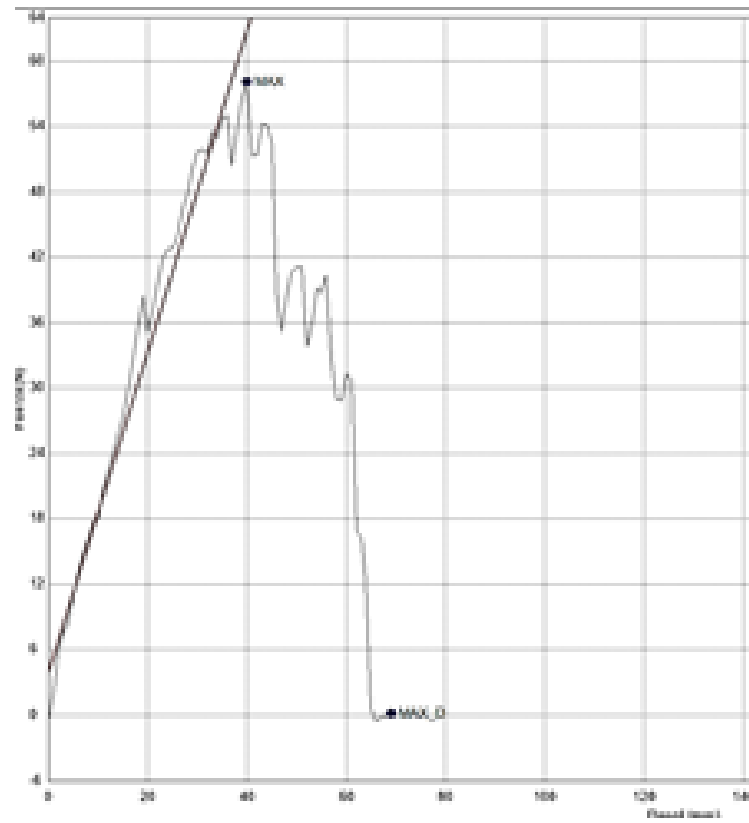
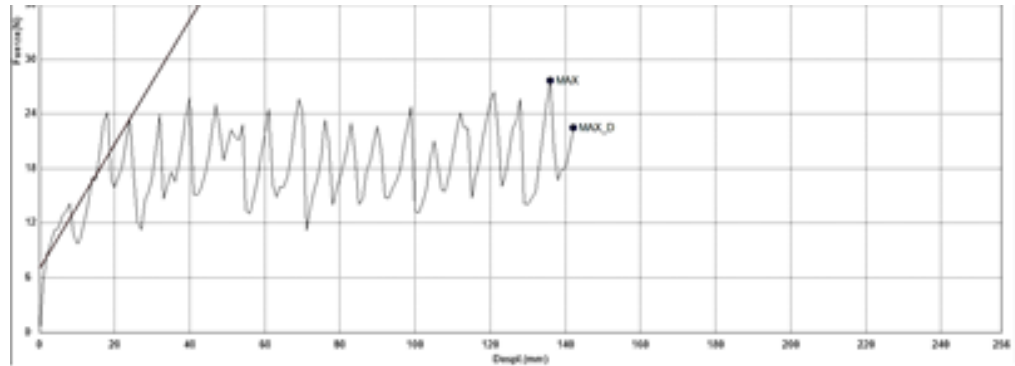
**Banner tipo brillante.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud a través de la trama, banner brillante.



**Banner reciclado tipo brillante.** Fuerza de desgarro por milímetro de longitud a través de la trama, banner reciclado brillante.



**Banner tipo mate.** Fuerza de desgarrar por milímetro de longitud a través de la trama y la urdimbre respectivamente, banner tipo mate.

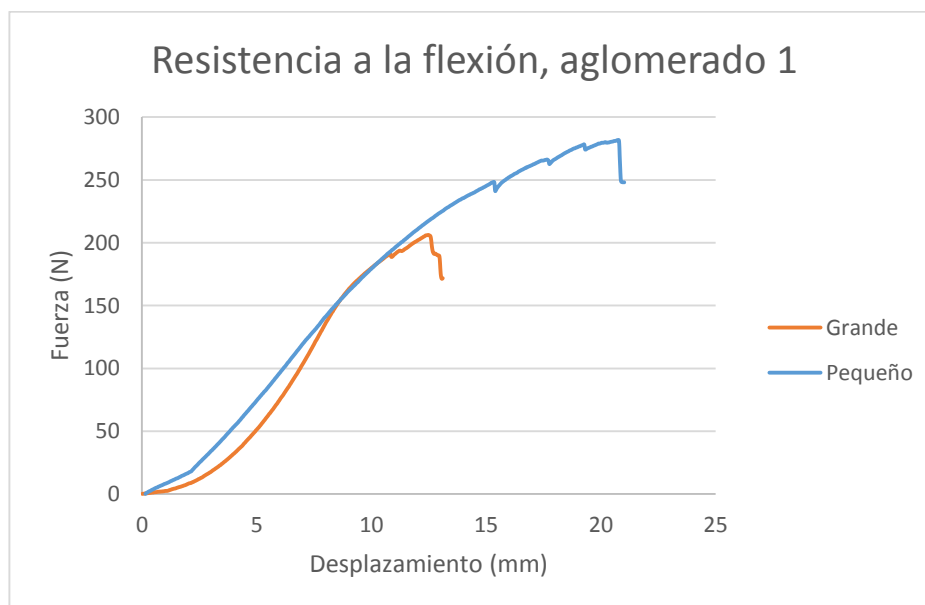


**ANEXO J.  
EMPRESAS COMERCIALIZADORAS DE BANNER 13 ONZAS Y SUS  
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.**

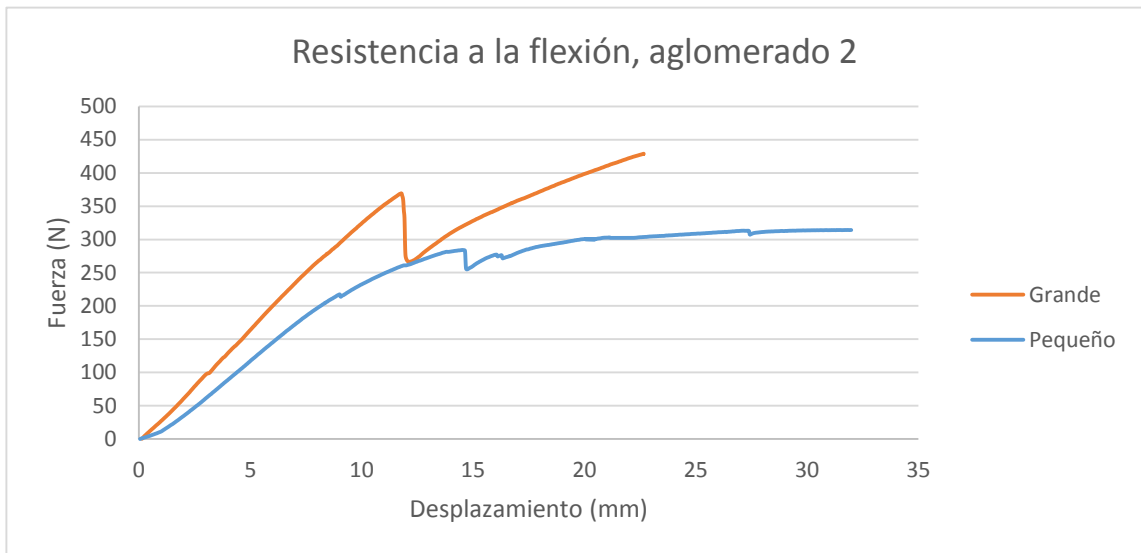
Empresa	Peso de fabricación (g)	Resistencia a la rotura (N/5cm)		Resistencia al desgarro (N)	
		Total	Trama	Urdimbre	Trama
ADH	440	451	635	107	125
Sky Colors	440	650	700	----	----
One1Sing	440	750	750	200	230
Avance y tecnología en plásticos	440	400	430	70	120
Singsupply	380	>200		>60	
Promedio	465	490,2	543	109,25	133,75

**ANEXO K.  
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, MATERIAL COMPUESTO O  
AGLOMERADO.**

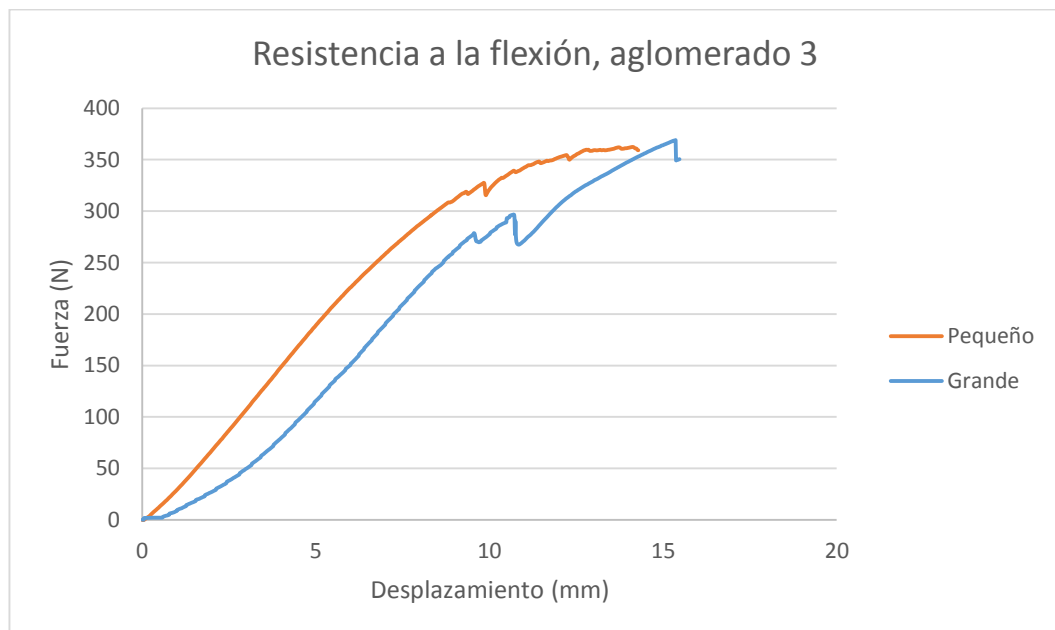
Aglomerado 1, tamaño de probeta grande de 14 cm x 10 cm (naranja) y tamaño de probeta pequeño de 10cm X 4 cm (azul)



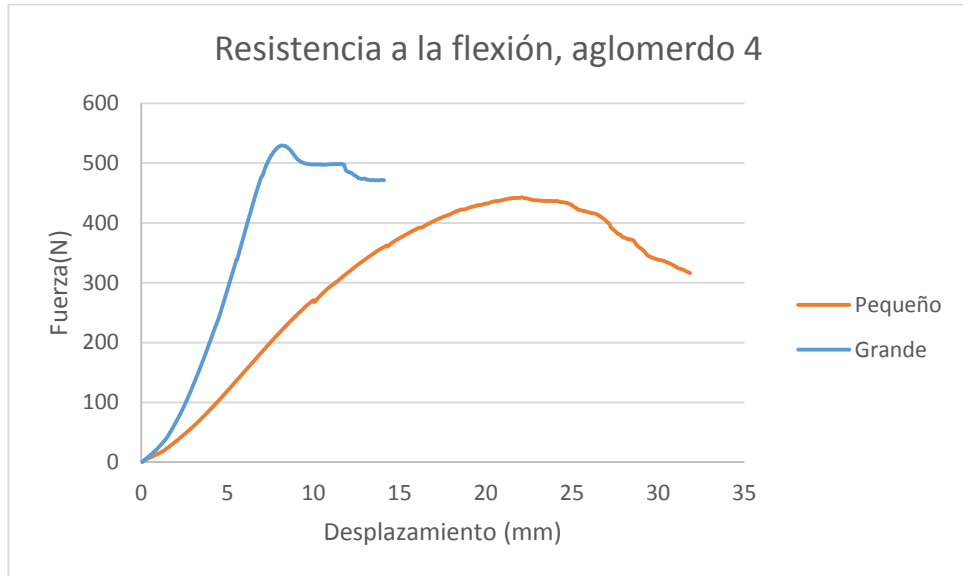
Aglomerado 2, tamaño de probeta grande de 14 cm x 10 cm (naranja) y tamaño de probeta pequeño de 10cm X 4 cm (azul)



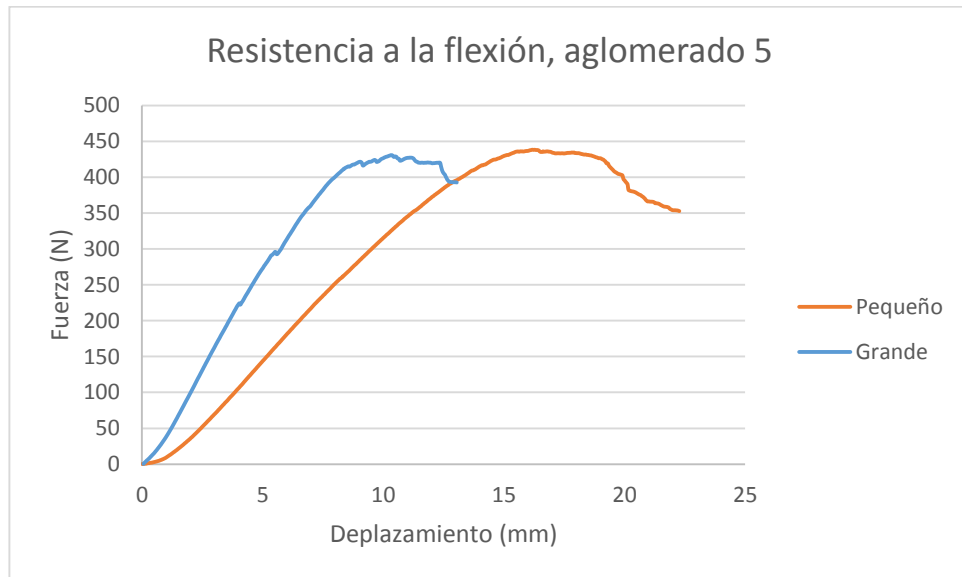
Aglomerado 3, tamaño de probeta grande de 14 cm x 10 cm (azul) y tamaño de probeta pequeño de 10cm X 4 cm (naranja)



Aglomerado 4, tamaño de probeta grande de 14 cm x 10 cm (azul) y tamaño de probeta pequeño de 10cm X 4 cm (naranja)



Aglomerado 5, tamaño de probeta grande de 14 cm x 10 cm (azul) y tamaño de probeta pequeño de 10cm X 4 cm (naranja)



**ANEXO L.  
DATOS HALLADOS EXPERIMENTALMENTE.**

- Para un aglomerado de 0.21 m x 0.12 m

<b>Operaciones</b>	<b>Flujo g/ día</b>
<b>Adecuación del polvillo de aserrín</b>	
Tamizado	
Cantidad de entrada	78,6
Cantidad no conforme	19,6
Cantidad conforme	58,9
Horno de secado	
Cantidad de entrada	58,9
Cantidad de agua retirada	6,4
Cantidad seca	52,5
<b>Adecuación del banner</b>	
Lavado	
Cantidad de entrada	61,8
Cantidad de agua limpia	4,7
Cantidad agua limpia e impurezas	6
Cantidad de banner limpio	60,5
Horno de secado	
Cantidad de entrada	60,5
Cantidad de agua retirada	1,6
Cantidad de banner seco	58,9
Remoción de partes metálicas	
Cantidad de entrada	58,9
Cantidad de partes metálicas	
Cantidad de banner sin partes metálicas	58,9
Molienda	
Cantidad de entrada	58,9
Cantidad perdida	0,5
Cantidad para tamizado	58,3
Tamizado	
Cantidad de entrada	58,3
Cantidad no conforme	5,8
Cantidad conforme	52,5
Tanque de mezcla 1	
Cantidad de entrada de aserrín	52,5
Cantidad de entrada de banner	52,5
Tanque de mezcla 1	
Cantidad de mezcla 1 entra	105
Cantidad de resina poliéster	120
Cantidad de alcohol polivinílico	119
Moldeo	
Cantidad de mezcla 2 entra	344

- Para una cantidad inicial de 43,25 g de xileno

<b>Operaciones</b>	<b>Flujo g/día</b>
<b>Solvente</b>	
Cantidad de xileno que entra	43,25
<b>Adecuación del banner</b>	
Lavado	
Cantidad de entrada	5,1
Cantidad de agua limpia	0,4
Cantidad agua limpia e impurezas	0,5
Cantidad de banner limpio	5
Horno de secado	
Cantidad de entrada	5
Cantidad de agua retirada	0,14
Cantidad de banner seco	4,8
Remoción de partes metálicas	
Cantidad de entrada	4,8
Cantidad de partes metálicas	N/A
Cantidad de banner sin parte metálicas	4,8
Molienda	
Cantidad de entrada	4,8
Cantidad perdida	0,05
Cantidad para tamizado	4,8
Tamizado	
Cantidad de entrada	4,8
Cantidad no conforme	0,48
Cantidad conforme	4,3
Tanque de agitación	
Cantidad de xileno que entra	43,25
Cantidad de entrada de banner	4,33
Cantidad de PET recuperado	1,95
Cantidad de PVC/ solvente	45,62
Centrifugación	
Cantidad de PVC/ solvente que entra	45,62
Cantidad de PVC recuperado	37,35
Cantidad de solvente y pigmentos	8,27
Recuperación del solvente	
Cantidad de solvente y pigmentos	8,27
Cantidad de solvente recuperado	7,44
Cantidad de pigmento recuperado	0,83

**ANEXO M.  
DISEÑO DE EXPERIMENTOS, DISOLUCIÓN SELECTIVA.**

**Tabla 2.** Diseño factorial 2<sup>4</sup>

<b>Numero de experimento</b>	<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>	<b>Factor C</b>	<b>Factor D</b>
1	-	-	-	-
1 replica	-	-	-	-
2	-	-	-	+
2 replica	-	-	-	+
3	-	-	+	-
3 replica	-	-	+	-
4	-	-	+	+
4 replica	-	-	+	+
5	-	+	-	-
5 replica	-	+	-	-
6	-	+	-	+
6 replica	-	+	-	+
7	-	+	+	-
7 replica	-	+	+	-
8	-	+	+	+
8 replica	-	+	+	+
9	+	-	-	-
9 replica	+	-	-	-
10	+	-	-	+
10 replica	+	-	-	+
11	+	-	+	-
11 replica	+	-	+	-
12	+	-	+	+
12 replica	+	-	+	+
13	+	+	-	-
13 replica	+	+	-	-
14	+	+	-	+
14 replica	+	+	-	+
15	+	+	+	-
15 replica	+	+	+	-
16	+	+	+	+
16 replica	+	+	+	+



Prueba supuestos del Anova	PVC		PVC		PET		PET		Valores de p						
	1	2	3	4	1	2	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	
	Fact A	Fact B	Fact C	Fact D	Fact A	Fact B	Fact C	Fact D	Fact A	Fact B	Fact C	Fact D	Fact A	Fact B	
Aleatoriedad (corridas arriba y abajo mediana)	0,056209	0,70254	1	0,70254	0,70254	0,702546									
Corridas arriba y abajo	0,63355	0,63355	1	1	0,63355	0,152661									
Normalidad (Kolmogorov Smirnov)	0,731083	0,99152	0,85218	0,99310	0,99119	0,620374									
Independencia (Box-Pierce)	0,403002	0,22069	0,30592	0,46424	0,15986	0,096035									
Homogeneidad de varianza (Barlett)			4	8	6	9	2	0,922141	0,0012838	0,722588	0,158535	0,509876	no	0,794215	0,00107064

### Desviación estándar

Tamaño de partícula (mm)	PVC (g) Desviaciones estándar											
	Concentración Solvente (% v/v)					Concentración Solvente (% v/v)						
	50		100		50		100		50		100	
	Velocidad de Agitación (rpm)				Velocidad de Agitación (rpm)				Velocidad de Agitación (rpm)			
	800		1000		800		1000		800		1000	
	Cantidad de polímero (% p/p)				Cantidad de polímero (% p/p)				Cantidad de polímero (% p/p)			
	5		10		5		10		5		10	
4	0,0250	0,0003	0,0132	0,0331	0,0093	0,1983	0,0201	0,0919	0,0250	0,0003	0,0132	0,0331
20	0,0045	0,0191	0,0539	0,0616	0,0731	0,0961	0,0471	0,0446	0,0045	0,0191	0,0539	0,0616

**Desviación estándar**

		<b>PET (g) Desviaciones estándar</b>							
		<b>Concentración Solvente (% v/v)</b>							
		<b>50</b>				<b>100</b>			
		<b>Velocidad de Agitación (rpm)</b>				<b>Velocidad de Agitación (rpm)</b>			
		<b>800</b>		<b>1000</b>		<b>800</b>		<b>1000</b>	
		<b>Cantidad de polímero (% p/p)</b>				<b>Cantidad de polímero (% p/p)</b>			
		<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	<b>4</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0093	0,1276	0,0201	0,0919
	<b>20</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0731	0,0961	0,0856	0,0446

**Efecto factor A**

<b>Factor A (Tamaño de partícula)</b>	
g PVC promedio para 4mm	= 1,2706
g PVC promedio para 20mm	= 1,4917

**Efecto factor B**

<b>Factor B (Concentrac Solvente % v/v)</b>	
g PVC promedio para 50 % v/v	= 0,4371
g PVC promedio para 100% v/v	= 2,3252

**Efecto factor D****Factor D (Cant polímero)**

---

g PVC promedio para 5% p/p polímero=	1,0736
g PVC promedio para 10% p/p polímero=	1,6888

---

**Efecto interacción AC****Factor A x Factor C**

---

g PVC promedio (4mm x800 rpm)=	1,3135
g PVC promedio (20mm x800 rpm)=	1,3790
g PVC promedio (4mm x1000 rpm)=	1,2277
g PVC promedio (20mm x1000 rpm)=	1,6044

---

---

**Efecto interacción BC****Factor B x Factor C**

---

g PVC promedio (50% x800 rpm)=	0,5118
g PVC promedio (50% x1000 rpm)=	0,3625
g PVC promedio (100% x800 rpm)=	2,1807
g PVC promedio (%100 x1000 rpm)=	2,4697

---

---

**Efecto interacción BD****Factor B x Factor D**

---

g PVC promedio (50% solvente x 5% polímero)=	0,3257
g PVC promedio (50% solvente x 10% polímero)=	0,5486
g PVC promedio (100% solvente x 5% polímero)=	1,8215
g PVC promedio (100% solvente x 10% polímero)=	2,8290

---

---

**Efecto interacción CD****Factor C x Factor D**

g PVC promedio (800 rpm x 0,9017 5%)=	
g PVC promedio (800 rpm x10 1,7909 %)=	
g PVC promedio (1000 rpm x 1,2455 5%)=	
g PVC promedio (1000 rpm 1,5867 x10 %)=	

**Efecto factor B****Factor B (Concentración Solvente % v/v)**

g PET promedio para 50 % v/v =	0,0000
g PET promedio para 100% v/v =	1,0119

**Efecto factor D****Factor D (Cantidad polímero)**

g PET promedio para 5% p/p 0,2576 polímero=	
g PET promedio para 10% p/p 0,7543 polímero =	

**Efecto interacción BD****Factor B x Factor D**

g PET promedio (50% solvente x 5% polímero) =	0,0000
g PET promedio (50% solvente x 10% polímero) =	0,0000
g PET promedio (100% solvente x 5% polímero) =	0,5152
g PET promedio (100% solvente x 10% polímero) =	1,5086

**ANEXO N.  
DATOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE  
PARETO.**

**Extracción de PVC**

4 mm x 4 mm	1.4917	11%	11%
100 % Xileno	2.3252	16%	27%
10 % polímero	1.688	12%	39%
20 mm x 20 mm y 1000 RPM	1.6044	11%	50%
100 % Xileno y 1000 RPM	2.4697	17%	67%
100 % Xileno y 10 %	2.829	20%	87%
800 RPM y 10 %	1.7906	13%	100%
total	14.1986	100%	

**Extracción de PET**

100 % Xileno	1.0119	31%
10 % polímero	0.7543	23%
100 % Xileno y 10 % polímero	1.5086	46%
Total	3.2748	100%

## ANEXO O. SUPUESTOS PARA COMPROBACIÓN DE VALIDEZ DEL ANOVA.

- **Aleatoriedad.** El supuesto de aleatoriedad define la relación entre las variaciones de los diferentes datos con respecto a la variación dentro de la muestra y ambas deben reflejar la variación de la población. <sup>119</sup>
- **Normalidad.** Para realizar la prueba de normalidad se emplea la prueba de Kolmogorov-Smirnov, esta prueba está basada en la desviación absoluta, esta desviación es comparada con los valores críticos tabulado y permite determinar si la desviación puede atribuirse a los efectos aleatorios y por lo tanto los datos sean aceptados al presentar un buen ajuste. <sup>120</sup>
- **Homogeneidad de varianza.** Se empleó la prueba de Bartlett ya que esta permite comprobar si un grupo de datos (muestras) poseen varianzas iguales a un nivel de confianza determinado. <sup>121</sup>
- **Independencia.** Se realiza un supuesto que permite observar que los datos son independientes con el fin de analizar las perturbaciones como si fuese un conjunto de variable igualmente distribuidas, para el cálculo de independencia se emplea la prueba de Box – Pierce para determinar si existe una auto correlación entre los datos. <sup>122</sup>

---

<sup>119</sup> FCNYM Supuestos anova [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/estadistica/ANOVA.pdf>

<sup>120</sup> HWMARUCE. normalidad [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: [http://hemaruce.angelfire.com/Unidad\\_III.pdf](http://hemaruce.angelfire.com/Unidad_III.pdf)

<sup>121</sup> SOFTWARE. Supuesto de homogeneidad de varianza [ en línea] consultado el 20 de mayo de 2019] <https://vivaelsoftwarelibre.com/test-de-bartlett-para-contrastar-la-homocedasticidad-de-mas-de-2-muestras-usando-r-commander/>

<sup>122</sup> CJARDON.Box - pierce [ en línea] [consultado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://cjardon.webs.uvigo.es/Transparencias/Unidad5.pdf>