

# **MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA HOJUELA DE PET EN UNA PLANTA DE RECICLAJE**

**DIANA MILENA CASALLAS MURCIA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA  
PEREIRA  
2014**

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA HOJUELA DE PET EN  
UNA PLANTA DE RECICLAJE**

**Por:**

**DIANA MILENA CASALLAS MURCIA**

**Requisito parcial para optar al título de tecnóloga en química**

**DIRECTOR:**

**EDWIN JHOVANY ALZATE RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA**

**PEREIRA**

**2014**

## CONTENIDO

Páginas

<b>GLOSARIO DE TERMINOS.....</b>	<b>-1-</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>-4-</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>-5-</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>-6-</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	-6-
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	-6-
1.3 OBJETIVOS.....	-7-
1.3.1 Objetivo general.....	-7-
1.3.2 Objetivos específicos.....	-7-
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	-7-
<b>2. MARCO TEORICO.....</b>	<b>-9-</b>
2.1 PLASTICOS.....	-9-
2.1.2 Tipos y características de los plásticos.....	-11-
2.2 TERMOPLASTICOS.....	-13-
2.2.1 PET.....	-14-
2.2.2 PVC.....	-15-
2.3 METODO DE LAVADO.....	-16-
2.4 METODO DE ANÁLISIS.....	-17-
2.5 PASOS PARA MUESTRE DE UN PROCEDIMIENTO.....	-17-
2.5.1 Preparación de una muestra.....	-18-
2.5.2 Humedad en las muestras.....	-18-
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>-19-</b>

3.1 DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA.....	-19-
3.1.1 Elección de un método analítico.....	-19-
3.1.2 Procedimiento.....	-20-
3.1.3 Clasificación del material molido.....	-20-
3.1.4 Aplicación de la metodología desarrollada.....	-21-
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>-24-</b>
4.1 Análisis de los datos.....	-24-
4.1.1 Tiempos de dosificación y pH.....	-28-
4.2 METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA HOJUELA DE PET.....	-29-
4.2.1 Dosificación de químicos.....	-29-
4.2.2 Obtención de la muestra.....	-30-
4.2.3 Análisis a realizar.....	-30-
4.2.4 Cálculos.....	-30-
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>-32-</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>-33-</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>-34-</b>

## LISTA DE TABLAS

Páginas

Tabla 1. Nomenclatura de los plásticos de uso industrial.....	-9-
Tabla 2. Emisiones a la atmosfera de la fabricación de plásticos.....	-11-
Tabla 3. Numeración y usos de los envases plásticos.....	-13-
Tabla 4. Diagnóstico inicial.....	-24-
Tabla 5. Ensayo No 1.....	-25-
Tabla 6. Ensayo No 2.....	-25-
Tabla 7. Ensayo No 3.....	-26-
Tabla 8. Ensayo No 4.....	-26-
Tabla 9. Ensayo No 5.....	-27-
Tabla 10. Ensayo No 6.....	-27-

## LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Estructura química del PET.....	-14-
Figura 2. Estructura química del PVC.....	-15-
Figura 3. Diagrama de flujo. Método de lavado.....	-16-
Figura 4. Diagrama de flujo para el desarrollo de la metodología.....	-19-
Figura 5. Instructivo para el procedimiento de cristalización.....	-22-
Figura 6. Instructivo para el procedimiento de humedad.....	-23-

## ANEXOS

Páginas

Fichas técnicas.....	-35-
Fotos de la hojuela cristalizada.....	-44-
Fotos de la botella de HIT.....	-53-

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Calidad:** La Calidad es herramienta básica para una propiedad inherente de cualquier cosa que permite que esta sea comparada con cualquier otra de su misma especie.

La palabra calidad tiene múltiples significados. Es un conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas. La calidad de un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo, es una fijación mental del consumidor que asume conformidad con dicho producto o servicio y la capacidad del mismo para satisfacer sus necesidades. Por tanto, debe definirse en el contexto que se esté considerando.

**Competitividad:** capacidad de una organización pública o privada, lucrativa o no, de mantener sistemáticamente ventajas comparativas que le permitan alcanzar, sostener y mejorar una determinada posición en el entorno socioeconómico.

El término competitividad es muy utilizado en los medios empresariales, políticos y socioeconómicos en general. A ello se debe la ampliación del marco de referencia de nuestros agentes económicos que han pasado de una actitud auto protectora a un planteamiento más abierto, expansivo y proactivo.

La competitividad tiene incidencia en la forma de plantear y desarrollar cualquier iniciativa de negocios, lo que está provocando obviamente una evolución en el modelo de empresa y empresario.

La ventaja comparativa de una empresa estaría en su habilidad, recursos, conocimientos y atributos, etc., de los que dispone dicha empresa, los mismos de los que carecen sus competidores o que estos tienen en menor medida que hace posible la obtención de unos rendimientos superiores a los de aquellos.

El uso de estos conceptos supone una continua orientación hacia el entorno y una actitud estratégica por parte de las empresas grandes como en las pequeñas, en las de reciente creación o en las maduras y en general en cualquier clase de organización. Por otra parte, el concepto de competitividad nos hace pensar en la idea "excelencia", o sea, con características de eficiencia y eficacia de la organización.

**Conformidad.** Cumplimiento de un requisito.

**Detergentes** son las sustancias que tienen la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo. El componente activo de un detergente es similar al de un jabón, su molécula tiene también una larga cadena



lipófila y una terminación hidrófila. Suele ser un producto sintético normalmente derivado del petróleo.

**Limpieza:** Proceso mediante el cual se elimina la suciedad visible de una superficie u objeto. Consiste en la eliminación de todo resto orgánico mediante agua y detergente.

**Medio ambiente.** Es el análisis de la relación entre ecosistema y cultura. En general, es el entorno en el cual opera una organización, que incluye el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos, y su interrelación. En este contexto, el medio ambiente se extiende desde el interior de una organización hasta el sistema global.

El medio ambiente se refiere a todo lo que rodea a los seres vivos, está conformado por elementos biofísicos (suelo, agua, clima, atmósfera, plantas, animales y microorganismos), y componentes sociales que se refieren a los derivados de las relaciones que se manifiestan a través de la cultura, la ideología y la economía. La relación que se establece entre estos elementos es lo que, desde una visión integral, conceptualiza el medio ambiente como un sistema.

Hoy en día el concepto de medio ambiente está ligado al de desarrollo; esta relación nos permite entender los problemas ambientales y su vínculo con el desarrollo sustentable, el cual debe garantizar una adecuada calidad de vida para las generaciones presente y futura.

**No conformidad.** Incumplimiento de un requisito.

**Partes por millón (ppm).** Unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto.

Es un concepto análogo al de porcentaje, sólo que en este caso no es partes por ciento sino por millón (tanto por mil). De hecho, se podría tomar la siguiente equivalencia:

$$10\ 000\ \text{ppm} = 1\ \%$$

Es decir que 10 000 ppm equivalen al uno por ciento. De lo anterior, se puede deducir que esta unidad es usada de manera análoga al porcentaje pero para concentraciones o valores mucho más bajos. Por ejemplo cuando se habla de concentraciones de contaminantes en agua o en aire, disoluciones con muy bajas concentraciones o cantidad de partículas de polvo en un ambiente, entre otros.

Un ejemplo podría ser las mediciones de concentración de un contaminante en el aire del ambiente cuyo valor máximo permisible sea 10 000 ppm. Tratar de escribir eso en porcentaje sería poco práctico pues sería mucho menor a 1 %.

**PET:** (Polietilen tereftalato) es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes o zunchos y láminas.

**PVC.** Es la denominación por la cual se conoce al policloruro de vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloroetileno (también conocido como cloruro de vinilo). Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

En su estado original, el PVC es un polvo amorfo y blanquecino. La resina resultante de la mencionada polimerización es un plástico que puede emplearse de múltiples maneras, ya que permite producir objetos flexibles o rígidos.

Una de las propiedades más interesantes del PVC es que resulta termoplástico: al ser sometido al calor, se vuelve blando y se puede moldear con facilidad. Al enfriarse, recupera la solidez anterior sin perder la nueva fisonomía.

**Reciclaje.** es un proceso cuyo objetivo es convertir materiales (desechos) en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles, reducir el consumo de nueva materia prima, reducir el uso de energía, reducir la contaminación del aire (a través de la incineración) y contaminación del agua (a través de los vertederos) por medio de la reducción de la necesidad de los sistemas de desechos convencionales, así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos. El reciclaje es un componente clave en la reducción de desechos contemporáneos y es el tercer componente de las 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar).

Los materiales reciclables incluyen varios tipos de vidrio, papel, metal, plástico, telas y componentes electrónicos. En muchos casos no es posible llevar a cabo un reciclaje en el sentido estricto debido a la dificultad o costo del proceso, de modo que suele reutilizarse el material o los productos para producir otros materiales. También es posible realizar un salvamento de componentes de ciertos productos complejos, ya sea por su valor intrínseco o por su naturaleza peligrosa.

## **ABSTRACT**

This project was carried out in a recycling plant in the town of Cazúca in Bogotá. This project includes the development of a methodology for improving the process of washing the PET flake.

The project aims to present a comprehensive plan for washing a factory producing RPET flakes (Recycled polyethylene terephthalate) from waste bottles from mass mainly achieving obtaining a suitable raw material to be processed again and transformed in different plastics.

To achieve the objectives of the project work documentation experimentation and giving guidelines to set a useful tool for use in research aimed at washing PET flake methodology was implemented.

The research was done using various processes washes flake PET, to which I was required in evidence as crystallization and moisture thus determining which process is the most optimal, which has a better ability to remove the dirt, which creates a better tone on foil.

The content of the paper is divided into 4 chapters. In the first the way this work is presented arises; in the second chapter the theoretical foundations concerning the process of washing the PET flake described; in the third chapter presents the methodology used; in the fourth chapter the results with corresponding analysis and discussions are shown; finally concluded and perform the respective recommendations.

## RESUMEN

El presente proyecto se llevó a cabo en una planta de reciclaje en la localidad de Cazúca en la ciudad de Bogotá. Este proyecto comprende el desarrollo de una metodología para el mejoramiento del proceso de lavado de la hojuela de PET.

El presente proyecto pretende hacer un plan global para el lavado de una fábrica de producción de escamas de RPET (polietileno tereftalato Reciclado) a partir de botellas procedentes de basura en masa principalmente, logrando así la obtención de una materia prima idónea para ser procesada nuevamente y transformada en diferentes plásticos.

Para conseguir los objetivos del proyecto se ejecutó un trabajo de experimentación y de documentación que dieron las pautas para ajustar una metodología útil para ser usada en investigaciones orientadas al lavado de la hojuela de PET.

La investigación se hizo utilizando diferentes procesos de lavados de la hojuela de PET, a los cuales se les realizó pruebas como cristalización y humedad determinando así cual proceso es el más adecuado cual presenta una mejor capacidad para remover el mugre, cual genera una mejor tonalidad en la hojuela.

El contenido del trabajo se divide en 4 capítulos. En el primero se presenta la manera como surge el presente trabajo; en el segundo capítulo se describen los fundamentos teóricos relativos al proceso de lavado de la hojuela de PET; en el tercer capítulo se presenta la metodología usada; en el cuarto capítulo se muestran los resultados con respectivo análisis y discusiones; finalmente se concluye y realizan las respectivas recomendaciones.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En la actualidad nos encontramos con un mundo globalizado, tecnificado e industrializado que consume a la sociedad cada vez más rápido, y se hace imprescindible la concientización por parte de la sociedad y de las industrias respecto al impacto ambiental que tienen los miles de envases de PET (polietileno tereftalato) que van a parar a los depósitos de basura, el cual en su mayoría pasan a ser reciclados y reprocesados.

La actividad principal de la planta de reciclaje es la de tratar el PET procedente tanto de basura en masa como de recogida selectiva (principalmente envases de refrescos) o material post industrial y transformarlo en escamas libres de impurezas para un procesamiento posterior.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente en Bogotá se recojan cerca de 6 000 toneladas diarias de basuras en el Relleno Sanitario de Doña Juana, de las cuales el 20 % son productos como botellas de agua, bolsas, recipientes de aceites, envases de productos de aseo, envases de gaseosas entre otros [1]. Uno de los componentes principales de estos desechos es el Tereftalato de polietileno (PET), que es 100 % reciclable, pero la gente no lo sabe o no aplica el reciclaje. Debido a la gran cantidad de envases de PET que son arrojados a la basura diariamente (1.800 toneladas aproximadamente) y que tienden a ocasionar un gran impacto ambiental, se genera la necesidad de implementar un plan de recuperación de este material, ya sea procedentes de basuras o post industrial. Al construir un plan de recuperación de botellas de PET, se ve la obligación de implementar y optimizar un proceso de lavado idóneo el cual genere una hojuela de PET perfectamente molida, lavada y seca que sirva como materia prima para la industria de plásticos y poder así generar nuevos productos derivados de este material logrando así una buena recuperación de PET.

Para lograr una alta calidad en los productos finales, se necesita una gran pureza en el material entrante (botellas) o en su defecto un sofisticado y buen proceso de limpieza, para disminuir o retirar la cantidad de impurezas como pegante y etiqueta entre otros, los cuales en gran exceso podrían generar puntos negros o un tono no

deseado en la lámina (producto final). Es por ello que se hace cada vez más indispensable en las plantas de reciclaje y de recuperación del PET un buen proceso de lavado de esta hojuela, que ayude a las empresas a disminuir las pérdidas y a aumentar en la competitividad. Una vez la calidad de la hojuela aumente, aumentará el rango de productos hechos de hojuelas de botellas y se empezará a reemplazar al PET virgen, el cual es un producto mucho más costoso.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Mejorar el proceso de lavado de la hojuela de PET en una planta de reciclaje en la ciudad de Bogotá.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización de la materia prima antes del lavado, a través de pruebas como cristalización, humedad y rechazo en línea
- Garantizar una materia prima óptima para el proceso de obtención de plásticos derivados de material reciclado, por medio de pruebas como cristalización, humedad y rechazo en línea.
- Capacitar a los empleados de la planta de reciclaje respecto al proceso de lavado de la hojuela de PET, dando a conocer los pasos necesarios para el mejoramiento del proceso.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto permite aplicar conceptos químicos y de calidad ambiental a partir del manejo apropiado que las empresas de reciclaje principalmente, deben dar al material procedente de basuras y post industrial, así como a los recursos naturales y a los químicos utilizados en el proceso de lavado y de cómo estos siendo mal utilizados pueden generar daños al medio ambiente y a la hojuela de PET que en este caso es la principal base del proyecto.

También pretende proporcionar una metodología adecuada para el proceso de lavado de la hojuela de PET disminuyendo pérdidas económicas, de material procesado (hojuela de PET y lámina de PET) y materia prima gracias a un adecuado lavado del material reciclado procedente de basuras que por su naturaleza viene muy sucio y lleno de contaminantes; influyendo así especialmente en empresas de

reciclaje pero permitiendo que otras áreas puedan investigar, estudiar y construir su propio sistema de lavado que genere igual o mejores resultados.

La documentación de este trabajo permitirá que grandes y pequeñas empresas tengan la oportunidad de conocer mejor el proceso de lavado de la hojuela de PET, además de estar al tanto de los beneficios que otorga el saber los efectos causados de una mala dosificación de químicos, de una mala materia prima, de unas aguas sucias y que efectos trae una hojuela de PET contaminada en la elaboración del producto terminado (lamina de PET). También permitirá concientización por parte de las organizaciones y de los posibles involucrados ante una grave crisis ambiental, y la búsqueda de soluciones prácticas, fulminantes y determinantes para solucionar un problema que nos compete a todos, como lo es la contaminación a gran escala del agua.

Permitirá también que los conceptos, aplicaciones y funciones adquiridas diariamente en la universidad sean puestos en práctica al iniciar la búsqueda, recolección y documentación de la información para hacer de este proyecto algo esencial en las organizaciones industriales, principalmente aquellas dedicadas a la fabricación y recuperación de PET y en la búsqueda que posibles compañeros puedan realizar a futuro ante nuevas situaciones.

## 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hará una descripción de categorías generales en los temas plásticos, PET y algunos conceptos de operaciones implicados en la metodología a desarrollar, para ofrecer al lector una ubicación en los términos del proyecto.

### 2.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son polímeros que, junto a los aditivos apropiados ofrecen materiales con excelentes propiedades térmicas, aislantes, resistencia a ácidos, bases y disolventes. Se entiende por plástico, cualquier material formado principalmente por algún polímero natural o sintético con sus aditivos correspondientes para conferirle las características deseadas.

La gran variedad de plásticos se debe al amplio espectro de productos que se fabrican con ellos y a que se diseñan materiales que ofrecen las propiedades necesarias a lo largo de la vida útil de los productos que se desean fabricar.

**Tabla 1. Nomenclatura de los plásticos de uso industrial. Fuente [9].IUPAC**

PLASTICOS			
SIGLA	NOMBRE	SIGLA	NOMBRE
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno	EPE	Ester Epoxídico
AMMA	Acrilotrilo-metracrilato de metilo	EPS	Poliestireno expandido
ASA	Acrilonitrilo-estireno éster acrílico	EVA	Etileno-acetato de vinilo
CA	Acetato de celulosa	EVAL	Etileno-alcohol vinílico
CAB	Acetato-butilato de celulosa	ETFE	Etileno-tetraflúor-etileno
CAP	Acetato-propionato de celulosa	FEP	Tetraflúoretileno/hexafluor-propileno
CF	Cresol-formaldehído	HDPE	Polietileno de alta densidad
CMC	Carboxi-metil.celulosa	LDPE	Polietileno de baja densidad
CN	Nitrocelulosa	LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
CP	Propionato de celulosa	MDPE	Polietileno de media densidad
CS	Caseína	MBS	Metacrilato de metilo butadieno estireno
CTA	Triacetato de celulosa	MC	Metilcelulosa
DAP	Ftalato de dialilo (dialilftalato)	MF	Melamina/formaldehído
DAIP	Ftalato de isodialilo	MPF	Melamina/fenol formaldehído
EC	Etil celulosa	PA	Poliamida
EEA	Etileno/acrilato de etilo	PA 6	Polímero de 6-caprolactoma
A/P	Etileno/propileno	PA 11	Polímero del ácido amino 11-undecanoico
EP	Epoxi	PA 12	Polímero de dodecalonactama 1,12



Tabla 1. (Continuación)

PLASTICOS			
SIGLA	NOMBRE	SIGLA	NOMBRE
PA 66	Polímero de hexametildiamina y del ácido adípico	PSHI	Poliestireno antichoque
PA 610	Polímero de hexametildiamina y del ácido sebácico	PSU	Polisulfona
PA 66/610	Copolímero de hexametildiamina con ácido adípico y ácido sebácico	PTFE	Politetrafluoretileno
PA 6/12	Copolímero de PA 6 y PA 12	PUR	Poliuretano
PA 612	Polímero de hexametildiamina y del ácido dodecanóico	PVAC	Poli (acetato de vinilo)
PA6-3-T	Polímero de trimetil-hexametildiamina y ácido tereftálico	PVAL	Poli (alcohol vinílico)
PAN	Poliacrilonitrilo	PVB	Poli (butirato de vinilo)
PB	Polibuteno-1	PVC	Poli (cloruro de vinilo)
PBTP	Poli-buutilen-tereftalato	PVCC	Poli (cloruro de vinilo) clorado
PC	Policarbonato	PVDC	Poli (cloruro de vinilideno)
PCTFE	Policlorotrifluoretileno	PVDF	Poli (fluorurode vinilideno)
PDAP	Poli (ftalato de dialilo)	PVF	Fluoruro de vinilideno
PE	Polietileno	PVFM	Poli (vinil-formaldehído)
PEC	Polietileno clorado	PVK	Polivinilcarbazol vinílico
PEOX	Poli (óxido de etileno)	PVP	Polivinil pirrolidona
PEP	Polímero de etileno propileno	RF	Resorcina-formaldehído
PET	Poli (tereftalato de etilen)	SAN	Estireno acrilonitrilo
PETP	Poli (tereftalato de etilenglicol)	SB	Estireno Butadieno
PF	Fenol-formaldehído	SI	Siliconas
PI	Poliimida	SMS	Estireno-metilestireno
PIB	Poli-isobutileno	SP	Poliéster saturado
PIR	Poli-isocianurato	UF	Urea-formaldehído
PIMI	Polimetracrilamida	UHMWPE	Polietileno de alto peso molecular
PMMA	Poli (metracrilato de metilo)	UP	Poliéster insaturado
PMP	Poli (metil-4 penteno-1)	VCE	Cloruro de vinilo/etileno
POM	Polioximetileno poliformaldehído (poliacetal)	VCEMA	Cloruro de vinilo/etileno/acrilato de metilo
PP	Polipropileno	VCEVA	Cloruro de vinilo/etileno/acetato de vinilo
PPC	Polipropileno clorado	VCMA	Cloruro de vinilo/acrilato de metilo
PPO	Polióxido de fenileno	VCMMA	Cloruro de vinilo/metacrilato de metilo
PPOX	Poli (óxido de polipropileno)	VCOA	Cloruro de vinilo/acrilato de octilo
PPS	Polisulfuro de fenileno	VCVAC	Cloruro de vinilo/acetato de vinilo
PPSU	Poli (fenilén-sulfona)	VCVDC	Cloruro de vinilo/cloruro de vinilideno
PS	Poliestireno	VPE	Polietileno reticulado
PSGP	Poliestireno cristal		

La producción de plásticos, antes de su procesado y uso en aplicaciones de consumo, conlleva unas emisiones que suponen un notable impacto ambiental, tal como lo muestra la tabla 2.

**Tabla 2. Emisiones a la atmosfera de la fabricación de plásticos. Fuente [1].[s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l]**

EMISIONES	HDPE (Kg)	PP (Kg)	PVC (Kg)	PET (Kg)
Particulas	7.100	1.500	1.700	5.000
CO	1.500	720	660	6.000
CO2	3 millones	1,9 millones	1,2 millones	3,1 millones
SOx	24.000	13.000	5.700	23.000
NOx	15.000	9.600	6.400	16.000
Hidrocarburos	6.200	2.300	1.400	12.000
Metano	8.300	6.100	4.300	10.000
Hidrogeno	100	77	410	460
HCL	230	33	70	-
Organoclorados	-	-	10	-

Para producir los materiales expuestos en la tabla 2. Se puede destacar que, en cuanto a emisiones al aire, el PET y el HDPE serían las más contaminantes seguido por el PP y el PVC. En cambio destaca el PVC como el más contaminante para el medio hídrico. El PP y el HDPE son los que tiene un menor impacto ambiental.

### 2.1.1 Tipos y características de plásticos

Las propiedades químicas más relevantes de los polímeros son:

- Resistencia al ataque químico. Depende de la naturaleza de los grupos funcionales característicos de cada monómero y en parte también su estructura. Esta explica la diversidad de comportamiento ante agentes químicos de los diferentes materiales. Así, las poliefinas que sólo tiene enlaces C-C y C-H, son resistentes a ácidos, bases y muchos disolventes, lo que permite su uso para envasado de productos químicos o alimentos.
- Solubilidad. Los polímeros termoestables son insolubles en disolvente puesto que este no puede separar las cadenas entrecruzadas, tan solo se produce un hinchamiento. Los polímeros de cadena lineal presentan respuestas más variadas a los disolventes, en función de la temperatura, el disolvente en cuestión y los grupos funcionales.
- Resistencia al envejecimiento. Generalmente son susceptibles de oxidación tanto térmica como fotoquímica, especialmente por el efecto combinado de calor, luz solar y oxígeno en condiciones atmosféricas. La degradación se produce por la formación de radicales libres que facilitan la posterior oxidación y las reacciones en cadena. Los polímeros cristalinos, por su mayor ordenación molecular, son más resistentes que los amorfos.

- Estabilidad térmica. El calor provoca cambios químicos diversos, despolimerización, reacciones de eliminación, fragmentación y reacciones de los grupos funcionales. Esto afecta a las uniones más débiles presentes en la mayoría de los polímeros y que hacen disminuir su resistencia térmica.
- Permeabilidad. La permeabilidad a los gases es de vital importancia en el sector del envase y embalaje. La cristalinidad, empaquetamiento molecular, la orientación o la afinidad entre carga y polímero también influyen.
- Propiedades ópticas. Las principales son la transmisión de la luz, índice de refracción o número de Abbe, que en la transparencia, brillo o turbidez. La presencia de estructuras cristalinas puede interferir con el paso de la luz provocando turbidez. ([1].[s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l])

## 2.2 TERMOPLASTICOS

Los termoplásticos son polímeros generalmente lineales o poco ramificados, por lo que pueden fluir a presión por encima de su punto de fusión. Pueden ser moldeados y remodelados mediante calor una y otra vez, por lo que su reciclado es relativamente sencillo y los convierte en los materiales objeto de reciclaje habitualmente. Suponen un 80% de los plásticos producidos actualmente. ([1].[s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l])

**Tabla 3. Numeración y usos envases plásticos. Fuente: elaborada por el autor**

CODIGO DE RECIKLADO	APLICACIONES DEL ENVASADO
 PET	Alimentos, productos perecederos como mantequilla y salsas, botellas de bebidas como refrescos y agua
 HDPE	Botellas de leche, bolsas, envases detergentes, cosmeticos
 PVC	Detergentes, champú, tuberías, carpintería, pinturas
 LDPE	Bolsas tintoreria, alfombras, vestidos, botellas flexibles (miel, motaza)
 PP	Yogures líquidos, latas de refrescos, contenedores de líquidos calientes, fibras
 PS	Platos, vasos, cubiertos, bandejas, cajas, aislante en construcción
 OTROS	No se incluye ninguno de los anteriores

### 2.2.1 PET (Polietileno tereftalato)

El PET es un polímero termoplástico producido por polimerización de etilenglicol con ácido tereftálico. Su uso aumentó debido a las facilidades que ofrecían para el envasado y embalaje por la variedad de formas y colores en que se podía procesar y las ventajas de su bajo peso. Este material ha experimentado un gran crecimiento en el uso para embotellado de bebidas carbonatadas y agua. ([1].[s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l])

Actualmente la mayoría del PET se recicla mecánicamente (uso de residuos plásticos troceados y más o menos limpios para su uso en la fabricación de productos plásticos), con los inconvenientes propios de un material con impurezas como las botellas, que llevan adheridas pegatinas y pinturas.

El reciclado de botellas de PET de un sólo uso comenzaría con la trituración de las botellas en escamas que serán lavadas para eliminar la etiqueta y la suciedad. Por flotación se separan las escamas de otros materiales; luego se secan.

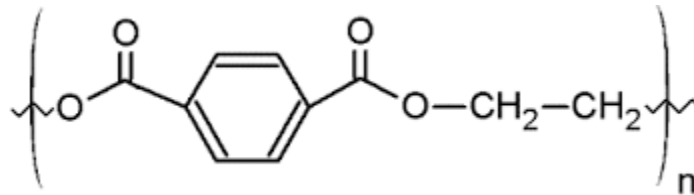


Figura 1. Estructura química del PET

### 2.2.2 PVC (Policloruro de vinilo)

El PVC tiene una gran resistencia mecánica y al ataque del agua y los productos químicos, lo que lo hace idóneo para aplicaciones que deban permanecer indeformables y durar en el tiempo, como por ejemplo las tarjetas de crédito. Es sin embargo, poco estable ante el calor y la radiación ultravioleta de la luz. ([s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l])

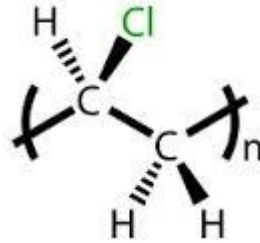
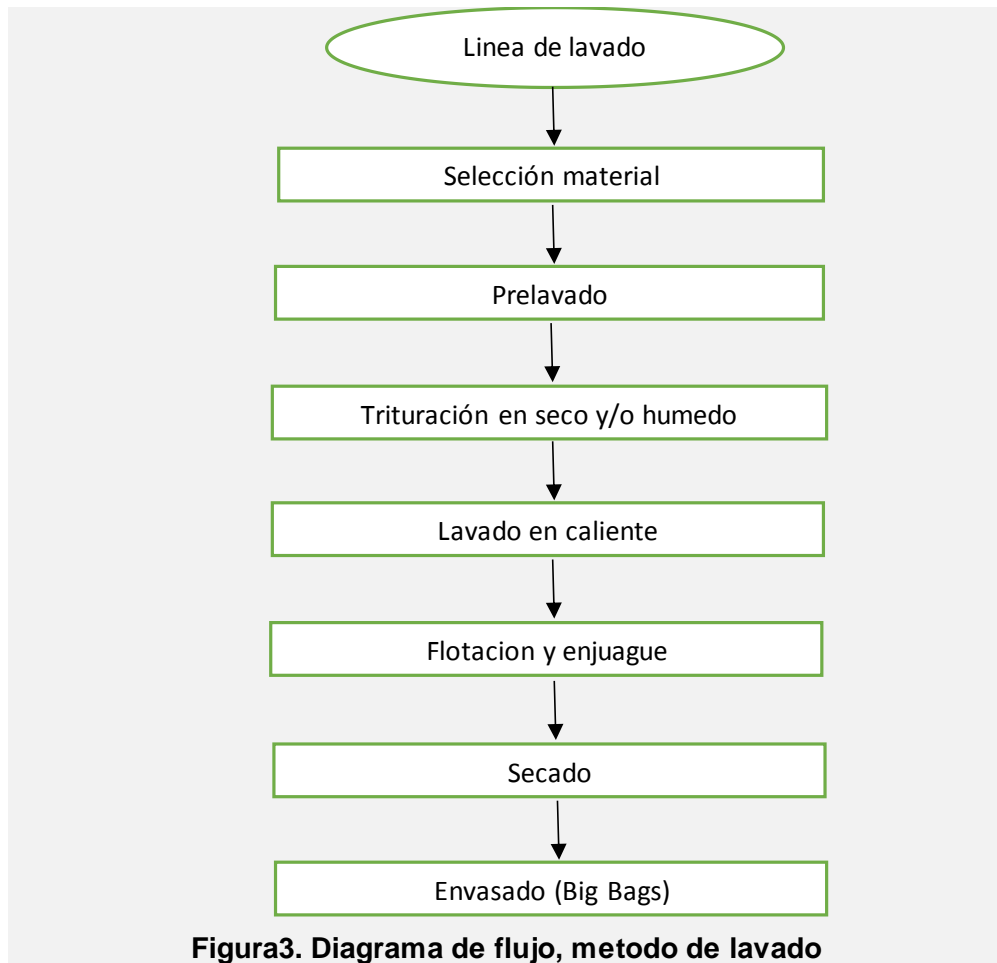


Figura 2. Estructura química del PVC.

## 2.3 METODO DE LAVADO

La mayoría de las líneas de lavado del PET siguen el siguiente diagrama de flujo:



**Figura3. Diagrama de flujo, metodo de lavado**

El proceso de lavado puede constar de varias etapas que se van alternando formando diferentes esquemas, dependiendo de la planta en cuestión y de las necesidades de la misma. No en todos los casos se dan las etapas mencionadas anteriormente y que se describirán a continuación. ([7].AIMPLAS; ECOEMBES. (2008). Situación actual y perspectiva del uso de PET reciclado para envases en contacto con alimentos).

La selección del material consta principalmente en la eliminación de polímeros ajenos como el PVC, papel, vidrio, piedras y metales entre otros.

El lavado se suele hacer sobre el envase.

La trituración consta de reducir los envases de tamaño. El tamaño final de la escama es habitualmente menor a 10 mm y libre de polvo.

El lavado se suele hacer sobre el triturado. Se puede utilizar agua, tensoactivos y soda caustica diluida a una temperatura que puede ser variable. Así mismo, se puede encontrar un único equipo de lavado o varios dispuestos en línea.

Mediante el lavado se eliminan contaminantes orgánicos. Los tensoactivos y la soda caustica empleados son eliminados mediante lavados sucesivos con agua; en el caso de que el enjuague no fuera adecuado quedarían restos de estas sustancias y supondrían una contaminación en la escama final.

## **2.4 METODO DE ANALISIS**

El método análisis implementado en este proyecto es el método de cristalización; este método permite lograr que una estructura amorfa, desordenada, transparente a la luz, pase a una estructura cristalina, uniforme, opaca a la luz, “lechosa”; logrando así una resistencia térmica y mecánica, para poder utilizar la hojuela de PET ya cristalizada para procesos de termoformado los cuales requieren de temperaturas muy elevadas. Así mismo, este método nos permite visualizar restos de sustancias como soda caustica y tensoactivos en la escama final

Para que este método sea optimo, la muestra (hojuela) debe de estar en partículas pequeñas, de más o menos de 0,2 a 0,5 mm para simular las condiciones reales del proceso.

Este método ofrece un procedimiento económico, rápido y sencillo gracias a que no requiere de un equipo sofisticado. Con este método se puede analizar un gran número de muestras, teniendo en cuenta el tiempo de análisis y número de plazas disponibles en el equipo.

Las desventajas que tiene este método son la falta de información sobre el tipo de compuesto presente o de la ausencia o presencia de compuestos tóxicos.

## **2.5 PASOS PARA MUESTREO DE UN PROCEDIMIENTO**

Un procedimiento analítico depende básicamente de la cantidad de muestra disponible y de la cantidad de analito presente, una vez seleccionado un método se debe de tomar una muestra representativa, el proceso de muestreo implica la obtención de una pequeña cantidad de muestra que presente con exactitud el total del material a analizar. ([8].Skoog, West, Halles, & Crouch)



### **2.5.1 Preparación de una muestra**

Para sólidos, la muestra debe de pesar desde cientos de gramos hasta kilogramos. Por lo tanto se busca hacer un muestreo significativo y reducir el margen de error muestreando el big bag en 5 ó 6 partes diferentes, en la parte superior, en el centro y en la parte inferior rodeándolo, tomando una muestra bruta de unos 670 g aproximadamente, por lo que es necesario reducirla hasta obtener una muestra que pese entre 100 a 120 g.

### **2.5.2 Humedad en las muestras**

Las muestras de laboratorio por lo general contienen agua que está en equilibrio con la atmosfera, en consecuencia la composición de la muestra depende de la humedad relativa y la temperatura ambiental al momento de su análisis.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA

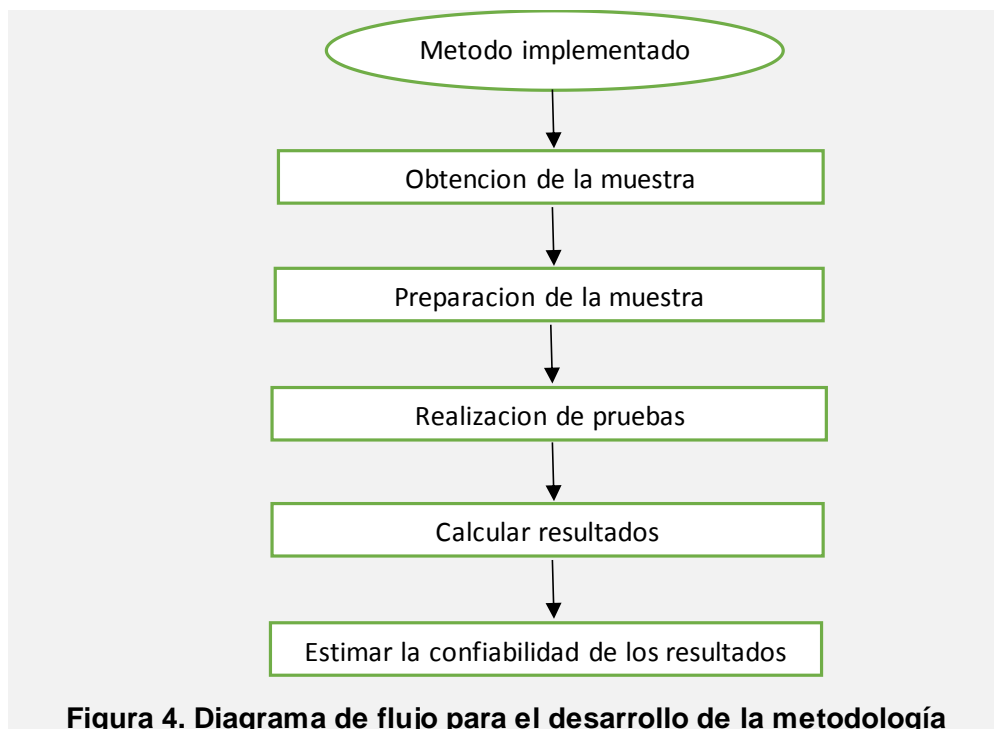
El desarrollo de las condiciones para establecer la metodología de análisis se lleva a cabo en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Cazúca, que es donde se encuentra ubicada la planta de reciclaje.

##### 3.1.1 Elección de un método analítico

Para la elección de un método analítico se consideran básicamente las variables; exactitud necesaria, tiempo y dinero disponible para el análisis, número de muestras y complejidad de la muestra.

En este caso la variable determinante en el proceso a desarrollar fue la disponibilidad de equipos para los análisis.

A continuación se presenta la figura 4 que establece un esquema de los pasos considerados para desarrollar la metodología que permita mejorar el proceso de lavado de la hojuela de PET en la planta de reciclaje.



**Figura 4. Diagrama de flujo para el desarrollo de la metodología**

### **3.1.2 Procedimiento**

Inicia con la alimentación de la banda transportadora con botellas de PET debidamente seleccionadas, que no tengan contaminación, o que no estén quemadas por el sol. Una vez adentro del sistema, las botellas efectúan el curso dentro de la maquinaria de manera totalmente automática, hasta que salen convertidas en escama de PET, perfectamente limpias, secas y sin polvillo o finos.

Dentro del sistema, la primera etapa es el molino, donde las botellas al ser molidas reciben el mejor proceso de lavado, con la adición de detergente y soda cáustica para lograr un óptimo lavado alcalino. A continuación pasa a la máquina lavadora en caliente, donde se completa el proceso de lavado, en presencia de limpiadores ácidos o neutros (PH=7) tales como el peróxido de hidrógeno. De ahí, el material pasa por entre un enjuague (primera centrífuga). Una vez escurrido el material, pasa a la tina de flotación, donde las escamas inmersas en agua con una cantidad mínima de peróxido de hidrógeno reciben un último enjuague y se separan de posibles restos de materiales flotables tales como residuos de etiquetas, etc. A la salida de dicho tanque, se inicia el proceso de secado mediante un centrifugado y se inicia toda una ruta de transportes en aire caliente para el secado final.

### **3.1.3 Clasificación del material molido**

Existen principalmente dos tipos de hojuela o de calidad de botellas en el mercado, está la hojuela o botella tipo A la cual se utiliza para procesos industriales debido a que ésta tiene un muy bajo porcentaje de pegante, etiqueta y suciedad, esta botellas son usualmente post industriales o son botellas que pasaron por un proceso de beneficiamiento mayor; y la hojuela o botella tipo B la cual se utiliza principalmente para procesos agrícolas debido a que a ésta botella no le es removido el pegante, las tapas, las etiquetas y debido a su uso, no es tan estricto la cantidad de impurezas que ésta contenga. La calidad de la botella que se esté moliendo determinara la frecuencia con la que se desarrollara la metodología propuesta.

### 3.1.4 Aplicación de la metodología desarrollada

Para llevar un control de este proceso se realizaron visitas diarias a la planta de reciclaje en donde se evaluara la calidad de las aguas (pH, suciedad, olor) y el material (botellas) que están moliendo, así como la supervisión de los operarios involucrados en el proceso.


Al realizar la molienda del material tipo A se observa una menor suciedad de las aguas involucradas en el proceso, lo que hace que la adición de los químicos sea menos constante, pero que la calidad de las aguas sea mucho mayor lo cual obliga a realizar cambio de aguas más seguidos, para así evitar algún tipo de contaminación y cambio de la tonalidad de esta hojuela.

Al realizar la molienda del material tipo B se observa una mayor suciedad de las aguas involucradas en el proceso, lo que hace que la adición de químicos sea más constante, y gracias a que la tonalidad de la hojuela en este caso no es tan estricta el cambio de agua no es tan seguido.


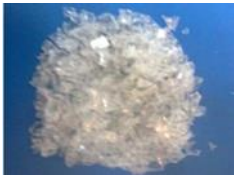


Una vez se realiza la verificación de estos parámetros se pasa a muestrear los big bags generados. El muestreo consta en muestrear el big bag en 5 o 6 partes diferentes, en la parte superior, en el centro y en la parte inferior rodeándolo para así poder hacer un muestreo significativo y reducir el margen de error.

Para determinar si un big bag es conforme o no conforme se le realizan pruebas de cristalización y humedad, la primera prueba permite visualizar la cantidad de pegante o goma, el tono de la hojuela, cantidad de otras impurezas como PVC y envases de Hit; la segunda prueba sirve para determinar si el producto final puede llegar a tener problemas con el ancho total o no, ya que cuando la hojuela o materia prima esta húmeda la lámina tiende a perder el ancho y salir más angosta de lo esperado, así como problemas con el calibre. Todas estas mediciones se realizaran en ppm.

A continuación se presentan las figuras 5 y 6 que establecen los instructivos y pasos a seguir para el desarrollo de los procedimientos de cristalización y humedad.

INSTRUCTIVO PROCEDIMIENTO CRISTALIZACION			
Paso	Operación	Descripción	Foto
1	Muestra	Tomar una muestra del material	
2	Organizar muestras	Colocar las muestras dentro de la incubadora (Horno) ubicada de forma equitativa tanto en la bandeja superior como inferior	
3	Iniciar prueba	Las muestras se dejan en la incubadora (Horno) a una temperatura de 210 °C durante una hora	
4	Medición de resultados	Sacar las muestras de la incubadora y hacer la comparación con la muestra patrón	
5	Criterio de aceptación	Si el resultado obtenido no se encuentra en el rango de aceptación, el big bag es rechazado	

**Figura 5. Instructivo para el procedimiento de cristalización. Fuente: elaborada por el autor**

<b>INSTRUCTIVO CONTROL DE HUMEDAD</b>			
<b>Paso</b>	<b>Operación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Foto</b>
1	Tarar el equipo	Para iniciar la prueba se tara el equipo	
2	Tomar muestra	Tomar una muestra de material a analizar. La cantidad debe de estar entre 4,8 y 5,4 gramos	
3	Adición de la muestra al medidor	Colocar la muestra en el recipiente de aluminio destinado para tal fin y cerrar el medidor	
4	Medición de resultados	Después de retirada la humedad de la muestra por el medidor ( la T° y el tiempo de secado lo determina automáticamente el medidor), se hace la lectura de los resultados dados en ppm.	
5	Criterio de aceptación	Si el resultado obtenido no se encuentra en el rango de aceptación, el big bag es rechazado	

**Figura 6. Instructivo para el control de la humedad. Fuente: elaborada por el autor.**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Las tablas presentadas en este capítulo obtienen los ensayos realizados para la ejecución de este proyecto. A continuación se hace un diagnóstico inicial de lo encontrado en la planta así como una descripción breve de las condiciones a las que se ejecutaron los diferentes ensayos, para establecer a manera de contraste las mejores condiciones para el desarrollo de la metodología que se presentara en el numeral 4.2 que permitirá el mejoramiento de lavado de la hojuela de PET y así conseguir una hojuela óptima.

Tabla 4. Diagnóstico inicial

DIAGNOSTICO INICIAL		
PROBLEMAS Y AMENAZAS	CONSECUENCIAS	SOLUCIONES
Presencia de pegante	Lamina con puntos negros	Mejorar la recepción del material
Contaminacion con pvc		Mejor preseleccion en la banda transportadora
Presencia de etiqueta		
Descontrol en al medicion de pH	Coloracion de la hojuela	Formatos de calidad: circuito de lavado
No utilizacion balanza para dosificacion de quimicos		Asegurar el periodo de dosificacion de quimicos
No hay control del matenimiento y limpieza de la maquinaria	Coloracion de la hojuela	Formatos de calidad:
	Contaminación del producto final	Mantenimiento diario (limpieza de filtros)
	Descontrol de los periodos de dosificación de químicos	Mantenimiento cada tres turnos(molino)
		Mantenimiento cada seis turnos (tanque flotación)

Según los resultados obtenidos en la tabla 4.Diagnóstico inicial el primer paso llevado a cabo para poder poner en práctica los ensayos, fue realizar una capacitación a todo el personal de la planta de reciclaje para concienciarlos de la importancia de una buena dosificación de químicos, así como una buena preselección de material y el mantenimiento y limpieza de la maquinaria utilizada en el proceso. También se les explica que la botella de HIT contiene una capa adicional de nailon en la botella, lo que hace que en el proceso de cristalización adquiera una tonalidad oscura por lo cual se debe de extraer en la banda transportadora.

En el primer ensayo se implementó una pequeña dosificación de químicos, como se muestra en la tabla 2 debido a que se habían corregido gran parte de errores en la selección y recepción de material.

Se empezó implementando soda caustica para remover los restos de pegante en la botella y como estabilizador de pH. Se adiciona hipoclorito de sodio para ayudar a blanquear la hojuela, para mejorar la tonalidad de la hojuela acompañado con el peróxido de hidrogeno y de ácido oxálico.

Las tablas que se ilustran a continuación muestran las dosificaciones iniciales del proceso.

**Tabla 5. Ensayo No.1**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
1	Molino: Soda Caustica (250 g) + Peroxido de Hidrogeno (500 mL)
	Lavadora: Sin quimicos
	Centrifuga 1: Acido Oxalico (250 g)
	Tina de Flotacion: Hipoclorito de Calcio (500 g)

Al llevar a cabo la prueba de cristalización se observó en la hojuela una gran cantidad de pegante, una tonalidad amarillenta por lo que se llevó a cabo una modificación en los químicos. Así mismo, se observó que las aguas, principalmente en el molino se ensuciaban muy fácilmente lo cual obligaba a realizar los cambios de agua con una mayor frecuencia.

**Tabla 6. Ensayo No.2**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
2	Molino: SodaCaustica (500 g) + Detergente en polvo (500 g) + Peroxido de Hidrogeno (500 mL)
	Lavadora: Sin quimicos
	Centrifuga 1: Acido Oxalico (250 g)
	Tina de Flotacion: Hipoclorito de Calcio (500 g)

Para disminuir la concentración de pegante se empezó a adicionar detergente en polvo el cual ayudaría a la soda a desprender los restos de pegante de la botella y a limpiar la hojuela una vez molida, para ayudar así a mejorar también el tono de la hojuela.



Al estar varios días en la planta de reciclaje se observa que los operarios tienden a olvidar las horas en las que deben de dosificar los químicos por lo cual se ve la necesidad de implementar una bomba de diafragma que ayude a dosificar los químicos principalmente en el molino, lográndose así a tener una dosificación constante y una mayor productividad ya que no se ve la necesidad de estar apagando la banda.

Una vez llega la bomba de diafragma se hace un cambio en las dosificaciones, como se ilustra en la tabla 4.

**Tabla 7. Ensayo No.3**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
3	Molino: Bomba diafragma: (SodaCaustica (200 g) + Shampo (6 L)) + Peroxido de Hidrogeno (3 000 mL)
	Lavadora: Sin quimicos
	Centrifuga 1: Sin quimicos
	Tina de Flotacion: Hipoclorito de sodio (500 mL)

En este ensayo se decide cambiar el detergente en polvo por un shampoo con mejores propiedades de limpieza; este shampoo contiene Texapon n-70 el cual es un tensoactivo muy fuerte y ayudara a limpiar mejor la hojuela así como también ayudara a la extracción del pegante de la botella, también contiene una carboximetil celulosa (c.m.c) el cual ayudara a darle contextura al shampo y cumplirá el papel de antiredepositante.

Al realizar la prueba de cristalización se observa que la hojuela sigue presentando una tonalidad amarilla y se decide cambiar el hipoclorito de sodio por peróxido de hidrogeno como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 8. Ensayo No.4**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
4	Molino: Bomba diafragma: (Soda Caustica (200 g) + Shampo (6 L)) + Peroxido de Hidrogeno (3 000 mL)
	Lavadora: Soda Caustica (50 g)
	Centrifuga 1: Soda Caustica (100 g)
	Tina de Flotacion: Peroxido de Hidrogeno (2 000 mL)

Buscando disminuir aún más la cantidad de pegante en la hojuela y estabilizar los pH en la lavadora y en la centrifuga se decide aumentar la dosificación de la soda caustica.

Al hacer los ensayos se observó que la cantidad de pegante si disminuye, pero el tono de la hojuela es muy oscuro y esto se debe al exceso de soda caustica en el sistema. Así mismo se observa, que el exceso de soda caustica no solo interfiere en la tonalidad de la hojuela, sino que reacciona con el peróxido de hidrogeno ocasionando que la hojuela no circule normalmente en el sistema y que esta flote, generando pérdidas en la producción, por lo cual se hace una modificación en la dosificación de químicos, como se ilustra en la tabla 6.

**Tabla 9. Ensayo No.5**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
5	Molino: Bomba diafragma: (Soda Caustica (140 g) + Shampo (6 L)) + Peroxido de Hidrogeno (1 000 mL)
	Lavadora: Soda Caustica (50 g)
	Centrifuga 1: Soda Caustica (100 g)
	Tina de Flotacion: Peroxido de hidrogeno (2 000 mL)

Para disminuir el exceso de soda caustica y disminuir el tono oscuro en la hojuela, se disminuye la dosificación de esta en el molino, así como la dosificación del peróxido de hidrógeno en el mismo.

Al realizar las pruebas se observa una gran mejora en la hojuela tanto en la presencia de pegante como en la tonalidad, aunque en el tanque de flotación se sigue presentando la flotación de la hojuela de PET, por lo que se disminuye la dosificación en este tanque de este químico, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 10. Ensayo No.6**

ENSAYO	CARACTERISTICAS
6	Molino: Bomba diafragma: (SodaCaustica (280 g) + Shampo (12 L)) + Peroxido de Hidrogeno (2 000 mL)
	Lavadora: Soda Caustica (50 g)
	Centrifuga 1: Soda Caustica (50 g)
	Tina de Flotacion: Peroxido de Hidrogeno (1 000 mL)

Para obtener una mayor productividad, se decide doblar el volumen en la bomba de diafragma sin aumentar la dosificación, así mismo se disminuye la concentración de la centrifuga 1 para evitar una tonalidad oscura en la hojuela y para poder tener los pH deseados.

#### **4.1.1 Tiempos de dosificación y pH**

Para tener un mayor control tanto de los pH como de la dosificación de los químicos, se tenía estipulado verificar los pH cada tres (3) horas.

Los pH del sistema deben de estar en los siguientes rangos:

- Molino 9-12 unidades
- Lavadora 9-12 unidades
- Centrifuga 9-12 unidades
- Tanque de flotación 6-7 unidades

Una vez iniciado el proceso con una de las dosificaciones mostradas anteriormente se hacia la medición del pH cada tres (3) horas y si este estaba por debajo del rango se le adicionaba soda caustica. Estos tiempos fueron estipulados sin tener en cuenta el tipo de botella que se estuviera moliendo.

Al realizar los diferentes ensayos se notó que la botella tipo B tendía a consumir con mucha rapidez los químicos por lo cual se disminuyó la verificación del pH para este tipo de botella a cada dos (2) horas, y para la botella tipo A se mantuvo en cada tres (3) horas, según lo sucia que viniera la botella.

## 4.2 METODOLOGIA DESARROLLADA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA HOJUELA DE PET

Los diferentes ensayos realizados y descritos en el numeral 4.1 hicieron posible establecer la metodología para mejorar el proceso de lavado de la hojuela de PET en una planta de reciclaje. El procedimiento que se presenta a continuación es una síntesis que recoge los resultados, tomando como base conceptual un diagnóstico inicial.

### 4.2.1. Dosificación de químicos

#### Tanques del molino: Bomba de diafragma

1. mezclar los siguientes químicos

COMPUESTOS	CANTIDAD
AGUA	60 LITROS
SHAMPOO	12 LITROS
SODA CAUSTICA	2800 GRAMOS

2. Agregar 2 Litros de peróxido de hidrogeno

#### Tanque de la centrifuga horizontal

1. Adicionar 50 g de soda caustica
2. Verificar pH cada 3 horas para material tipo A y cada 2 horas para material tipo B
3. Si el pH indica un valor menor de 9 agregar 25 g de soda caustica de lo contrario, medir el pH media hora después y según el dato adicionar o no la soda

#### Tanque del equipo de lavado en caliente

1. Adicionar 50 g de soda caustica
2. Verificar pH cada 3 horas para material tipo A y cada 2 horas para material tipo B

3. Si el pH indica un valor de 9 agregar 25 g de soda caustica de lo contrario, medir el pH media hora después y según el dato adicionar o no la soda

### **Tanque de flotación**

1. Adicionar 1 L de peróxido de hidrogeno antes de iniciar el lavado
2. Verificar pH cada 3 horas para material tipo A y cada 2 horas para material tipo B
3. Agregar 1 L de peróxido de hidrogeno cada 3 horas

### **4.2.2 Obtención de la muestra**

La muestra debe de ser tomada en 6 o más puntos geoméricamente distribuidos (parte superior, medio y parte inferior) hasta una profundidad de más o menos 30 cm en cada uno de los big bag, obteniendo una muestra bruta de 670 g aproximadamente.

### **4.2.3 Análisis a realizar**

- **Prueba de cristalización:** Tomar una muestra de 100 a 120 g, introducir en la incubadora (horno) a 120° C por 1 hora. Sacar la muestra y comparar con patrón.
- **Prueba de humedad:** Pesar una muestra de 4,8 a 5,4 g, colocarlo en el medidor y hacer la lectura una vez retirada la humedad, los datos se dan en ppm.

### **4.2.4 Cálculos**

Todos los resultados se presentan en partes por millón (ppm)

$$[ \ ]_{PEGANTE} = \frac{\text{mg hojuela con pegante}}{\text{Kg masa total}}$$

Para calcular la cantidad de PVC en la muestra, la cantidad de otros contaminantes, de hojuela de HIT se hace de la misma manera.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de la metodología desarrollada se obtuvieron resultados reproducibles bajo condiciones idénticas de operación en la bomba de diafragma (molino), en la centrífuga horizontal y en el tanque de flotación logrando así un ahorro de tiempo y un aumento de la producción.

La principal fuente de error que presenta el método desarrollado es el humano, debido a que los operarios aun no son conscientes de la importancia de dosificar a tiempo, dosificar las cantidades que son y de la necesidad de hacer una preselección del material, para minimizar este error.

Al modificar y comparar los reactivos empleados, los tiempos de dosificación se encuentra una gran mejora en la hojuela final tanto en tonalidad, como en presencia de otros contaminantes y en el brillo final, en el numeral 4.2.1 se encuentra el método al que se llegó. Así mismo, se observa una gran reducción en el rechazo en línea lo que comprueba que el material aprobado esta en optima condiciones.

Las condiciones de lavado de la hojuela varía según el tipo de material que se esté moliendo, hay que tener muy presente que el material tipo A requiere de unas aguas más limpias, de un mejor proceso de selección y pre selección.

Las aguas deben de ser cambiadas en los tiempos estipulados para evitar así la contaminación de la hojuela. También se deben de cambiar sin importar el tiempo de uso siempre y cuando se pase de un materia tipo B a un material tipo A.

## **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda mejorar la recepción y preselección de material, para evitar que a la banda transportadora pasen contaminantes como PVC, HIT, botellas con pegante, pintura y otros.

Asegurar un periodo de dosificación de químicos, de cambio de aguas y de mantenimiento de la maquinaria.

Realizar capacitaciones a los operarios indicándoles la importancia de llevar los registros de los pH, de los cambios de aguas y mantenimiento de maquinaria para futuras modificaciones; así como instruirlos sobre la dosificación de químicos.

Implementar planta de tratamiento de aguas para reducir la contaminación ambiental y reutilizar la mayor cantidad de agua posible.

Socializar los resultados con los operarios de la planta de reciclaje, dándoles a conocer el resultado del trabajo diario.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. [s.n] (2011). Gestión integral de los residuos generados en una planta de reciclaje de PET. [s.l]
2. Dr. Ulrich K. Thiele (2007). Polyester bottle resins, Production, processing, properties and recycling.
3. Mc Graw-hill, Cascio J, Woudside G, Mitchell P. (1997) Guía ISO 14000, Las nuevas normas internacionales para la administración ambiental.
4. Elias, X., Jurado, L. (2009). Reciclaje de residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Xavier Elias (segunda edición)
5. Aguilar, M. (1999). Reciclamiento de basura. Una opción ambiental comunitaria. Trillas.
6. BOGOTA. Alcaldía mayor. (2003) Esto no es basura. Reciclaje y separación de basuras en Bogotá. Panamericana formas e impresos.
7. AIMPLAS; ECOEMBES. (2008). Situación actual y perspectiva del uso de PET reciclado para envases en contacto con alimentos.
8. Skoog, D., West, D., Holles, F., Crouch, S. (2005). Principios de análisis instrumental. Thomson
9. IUPAC
10. [www.alcaldiabogota.gov.co//proyecto de acuerdo 241 de 2011](http://www.alcaldiabogota.gov.co//proyecto%20de%20acuerdo%20241%20de%202011)
11. <[www.etc.upm.es/isf/clase3.pdf](http://www.etc.upm.es/isf/clase3.pdf)>
12. <<http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/biologia/biolo0.htm>>
13. <<http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/biologia/biolo2.htm>>
14. <[biocab.org/ecologia.html](http://biocab.org/ecologia.html)>
15. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad>>
16. <[www.monografias.com/.../competitividad/competitividad.shtml](http://www.monografias.com/.../competitividad/competitividad.shtml)>
17. <[http://www.anep-pet.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6&Itemid=10](http://www.anep-pet.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=10)>
18. <http://definicion.de/pvc/#ixzz31Qsc7neS>

## **ANEXOS**

### **FICHAS TÉCNICAS**

#### **TEXAPON N-70**

Lauril éter sulfato de sodio al 70 %. Pasta translúcida de color blanco de carácter aniónico, soluble en agua, biodegradable, extremadamente suave a la piel con excelentes características de color y olor. Posee extraordinario poder espumante bajo altas condiciones de agua, estable en diferentes pH. Por su carácter aniónico es incompatible con tensoactivos catiónicos.

#### ***OBTENCION***

Por síntesis química.

#### ***USOS***

Es un detergente aniónico biodegradable del tipo alcohol graso natural sulfatado usado en la industria cosmética para la fabricación del champú, baños espumosos y jabones de tocador.

#### ***PRECAUCIONES***

Poco tóxico, combustible.

Su almacenamiento se debe hacer en lugares frescos lejos de fuentes de calor o chispas.

Su manejo se debe realizar con las máximas normas de seguridad, guantes, careta, etc.

## **ESPECIFICACIONES - CIFRAS TIPICAS**

<b>APARIENCIA</b>	PASTA TRANSLUCIDA BLANCA
<b>PH (SOL. 1%)</b>	6,5 – 8,0
<b>SOLUBILIDAD</b>	TOTALMENTE SOLUBLE EN AGUA
<b>MATERIA ACTIVA LAURIL SULFATO DE SODIO, %</b>	70.0 - +/- 2.0 %
<b>SULFATO DE SODIO</b>	2.0 MAX.
<b>PESO MOLECULAR PROMEDIO</b>	382 - 387

## **PRESENTACION**

GARRAFAS X 170 kg. Y DESDE 1 kg EN ADELANTE.

## **PEROXIDO DE HIDROGENO 50%**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, agua oxigenada, bióxido de hidrógeno. Líquido pesado, incoloro, generalmente se vende en solución acuosa de distintas concentraciones (35 – 50 %). En su forma anhidra, es insoluble en alcohol y agua, inestable, cataliza su descomposición cualquier impureza. La solución comercial contiene comúnmente inhibidor, tal como acetotemetidina.

## **OBTENCION**

Por oxidación electrolítica de ácido sulfúrico con subsiguiente hidrólisis y destilación del peróxido de hidrógeno formado.

## **USOS**

Blanqueo y desodorante de textiles, pulpa de madera, cabello, piel etc., fuente de peróxidos orgánicos e inorgánicos; industria de pulpa y papel, manufactura de glicerol, antiséptico, reducción y oxidación, refinado y limpieza de metales, cosméticos.

## **PRECAUCIONES**

Las soluciones concentradas son muy tóxicas y fuertemente irritantes. Peligroso riesgo de incendio y explosión. Fuerte agente oxidante, tolerancia 1 p.p.m. en el aire. En alimentos no exceder 200 p.p.m. Su almacenamiento se debe hacer en lugares frescos lejos de fuentes de calor o chispas. Su manejo se debe realizar con las máximas normas de seguridad, guantes, careta, etc.

## **C.M.C. TIXOTROL**

Nombre químico carboximetil celulosa de sodio (CMC). Sinónimos: CMC, goma celulosa. NaCMC.

Eter celulósico de carácter anionico y soluble en agua.

## **CARACTERISTICAS**

Color: Crema-blanco

Olor: Inoloro

Sabor: Insaboro

## **USOS**

Este tipo de CMC es recomendada para el espesamiento de sistemas base agua tipo pinturas, recubrimientos plásticos y detergentes líquidos. Es fabricado bajo ciertas condiciones específicas que permite que el producto pueda ser agregado al sistema a espesar dispersándose fácilmente sin formación de grumos permitiendo que el sistema en general opere sin influencia de grumos ni viscosidad.

## **PRECAUCIONES**

Su almacenamiento se debe hacer en lugares frescos. Su manejo se debe hacer con las mínimas normas de seguridad, guantes, careta, etc.

## **ESPECIFICACIONES - CIFRAS TIPICAS**

<b>PUREZA</b>	<b>95.0 MINIMO</b>
<b>HUMEDAD wt %</b>	<b>8 maximo</b>
<b>DS</b>	<b>0,9 – 1,2</b>
<b>VISCOSIDAD (SOL 1 WT %, 25 C, LVF, AGUJA 4, 60 rpm).cps</b>	<b>55-75</b>
<b>VISCOSIDAD 25 °C al 5.66% a 4 y 18 h</b>	<b>2,2-2,8</b>
<b>pH (solución 1 wt %)</b>	<b>6,5-8,5</b>

## **PRESENTACION**

Bolsas de 1 kg y Bulto por 25 kg.

## **SODA CAUSTICA ESCAMAS**

La soda cáustica es blanca, microcristalina, higroscópica (atrae la humedad), delicuescente (se disuelve con la humedad que absorbe de la atmósfera) reacciona con el anhídrido carbónico del aire para formar carbonato de sodio, no es combustible y no alimenta la combustión.

EQUIVALENTE NAOH	ALCALINO	100%	77.48 % NaO <sub>2</sub>
Punto de Fusión			310 a 320 °C.
Calor de la solución			Exotérmica.
Solubilidad en agua a 32 °F :			42 g/100 g de agua.
Tasa de solución			Dos veces más rápido que las escamas.

### **OBTENCION**

Por electrólisis del cloruro sódico.

### **USOS**

Manufactura de productos químicos; refinado de petróleos; pulpa y papel, medicina; detergentes, jabón, procesos textiles, refinado de aceite vegetal, regeneración de caucho, gravado de galvanoplastia, reactivo de laboratorio.

### **PRECAUCIONES**

Muy tóxico por ingestión e inhalación, fuerte irritante para el tejido. Tolerancia 2 miligramos por metro cúbico de aire.

Su manejo se debe realizar con las máximas medidas de seguridad, guantes, careta, etc.

### **ESPECIFICACIONES - CIFRAS TIPICAS**

NaO	99.15 %
Na <sub>2</sub> COH	0.45 %
NaCl	0.05 %
Fe	0.0002 %

## **PRESENTACION**

Sacos x 25 kg y bolsas desde 1 kg en adelante.

## **HIPOCLORITO DE SODIO 15 %**

Esta sal es inestable en el aire, a menos que se mezcle con hidróxido sódico; fuerte agente oxidante; generalmente se emplea en solución de olor dulzaino desagradable, color verdoso pálido, soluble en agua fría. Lo descompone el agua caliente.

## **OBTENCION**

Electrolizando una solución fría diluida de sal.

## **USOS**

Blanqueo de la pulpa de papel, tejidos etc., productos químicos orgánicos, purificación del agua, medicina; fungicidas; piscinas, blanqueo doméstico, reactivo.

**DISOLUCION:** EN AGUA PARA DESINFECCION EN CONCENTRACION DEL 1% LO QUE SIGNIFICA UNA ADICION DE 10 ml POR LITRO DE SOLUCION.

## **PRECAUCIONES**

Tóxico por ingestión e inhalación, fuerte irritante para el tejido. Riesgo de incendio en contacto con materias orgánicas. Su manejo se debe realizar con las máximas normas de seguridad, guantes, careta, etc.

Su almacenamiento se debe hacer en lugares frescos y lejos de fuentes de calor o chispas.

## **ESPECIFICACIONES - CIFRAS TIPICAS**

<b>COLORO LIBRE</b>	130.0 - .g /l MIN.
NaOH (ALCALINIDAD TOTAL)	20 g/l MAX.
DENSIDAD (20 °C)	1.20 g/l MIN.
METODO DE ANALISIS	NORMA ICONTEC No. 1847

## **PRESENTACION**

Garrafas x 24 kg

## **ACIDO OXALICO**

El ácido oxálico es el primero de la serie de los dicarboxílicos. En su forma comercial viene dihidratado, siendo su fórmula  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$  y su peso molecular 126.1. A temperatura ambiente se presenta en forma de cristales prismáticos monoclinicos, incoloros e inodoros. Posee alta solubilidad en agua y en alcohol etílico. Es el más fuerte de los ácidos orgánicos comunes; sus constantes de disociación son comparables a las de muchos ácidos minerales.

## **OBTENCION**

Por oxidación de carbohidratos.

## **USOS**

El ácido oxálico es un producto químico económico y efectivo para remover y precipitar el calcio, y para quelatar el hierro y otros cationes metálicos. Adicionalmente, su poder reductor y su fortaleza ácida, unidos a las ventajas de ser un ácido orgánico, lo hacen particularmente atractivo para ciertas industrias.

Estas características son ampliamente usadas:



- a) En la Industria de la Construcción y en Aseo del Hogar, para pulimento de pisos de mármol y similares y para limpieza y descurtido de baños, sanitarios y lavamanos.
- b) En la Industria del Cuero (curtiembres), para blanqueo y protección contra la putrefacción de cueros curtidos por procesos al Tanino y al Cromo.
- c) En la Industria de Lavado de Ropa (lavanderías y similares), para remoción del hierro y otros metales que manchan la ropa y para neutralizar el exceso de alcalinidad de los detergentes.
- d) En la Industria Textil, para procesos de blanqueo y recuperación de tejidos manchados por acción del hierro; también como auxiliar en baños de teñido y en pastas de estampación. Se usa también como catalizador en las resinas aplicadas a las telas de “planchado permanente”
- e) En la Industria Metalmeccánica, como componente en baños de limpieza, decapado y fosfatizado de metales, para remover los óxidos y depositar películas que proveen protección y lubricación. (En anodización del aluminio, forma películas puras, resistentes a la corrosión y a la abrasión, de colores atractivos)
- f) Otros usos importantes:
  - En formulaciones para limpieza de calderas, circuitos de refrigeración de motores, radiadores, etc.
  - En blanqueo, celulosa, corcho, tierras filtrantes, caolines, talcos, etc.
  - En el desgomado y blanqueo de aceites vegetales.
  - Como catalizador de resinas fenólicas tipo Resol, en la industria de lacas.

## **PRECAUCIONES**

El ácido oxálico y sus soluciones son corrosivos y nocivos para la salud. Cuando se maneja en estado sólido, se debe evitar respirar el polvillo formado por cristales finos, pues éste irrita las mucosas. Las salpicaduras sobre la piel se deben lavar inmediatamente con abundante agua y jabón. Si accidentalmente es ingerido, se deben tomar de inmediato compuestos de calcio o magnesio suaves, tales como leche de magnesia, gluconato de calcio o leche de vaca y consultar a un médico.

Para su seguro manejo se encarece el uso de guantes, delantal y botas de caucho, careta o gafas de seguridad, y máscara con filtro para polvo cuando se maneja en estado sólido.

No se debe almacenar ácido oxálico en lugares donde se almacenan y/o se toman alimentos ni se debe comer en lugares donde se maneje este producto. Quienes lo manejen deben lavarse bien las manos y la cara antes de comer o fumar.

## ESPECIFICACIONES - CIFRAS TÍPICAS

CONCENTRACIÓN	99 % MIN
HUMEDAD RESIDUAL	1 % MAX
PRESENTACIÓN	CRISTALES FINOS
PUNTO DE FUSION	100.5° C
DENSIDAD (20°C)	1.653 g/mL
INDICE DE REFRACCION (20°C)	1.475

## PRESENTACION

Sacos x 25 kg y bolsas desde 1 kg en adelante.

## FOTOS DE LA HOJUELA CRISTALIZADA

Se presentan a continuación algunas fotos de los resultados obtenidos en los ensayos realizados. En las primeras fotos se puede apreciar las hojuelas con un exceso de soda caustica y con hipoclorito de sodio, la tonalidad oscura se debe a la soda caustica y la tonalidad amarilla se debe a un mal enjuague y a estar mucho tiempo en contacto con el hipoclorito de sodio. Las partículas negras son las hojuelas de PVC que alcanzaron a pasar en la banda transportadora.



Las siguientes fotos muestran el resultado final, la hojuela obtenida con el último método empleado.



En las siguientes fotos se hace una comparación de la hojuela con los primeros ensayos y el ensayo final, notase una diferencia no solo en el tono sino también en la presencia de PVC.



En la siguiente foto se muestra la diferencia entre una botella de PET y una botella de HIT, siendo la botella de HIT la café.

