

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Caracterización de desechos plásticos generados en la
USFQ y Estudio de Factibilidad de la Instalación de una
planta de reciclaje para la producción de mesas móviles
que se adapten a las salas de cine del Paseo San
Francisco.**

Proyecto de Investigación

María Fe Suasnavas Herrera

Ingeniería Química

Trabajo de titulación presentado como requisito

para la obtención del título de

Ingeniera Química

Quito, 21 de diciembre del 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Caracterización de desechos plásticos generados en la USFQ y Estudio de Factibilidad de la Instalación de una planta de reciclaje para la producción de mesas móviles que se adapten a las salas de cine del Paseo San Francisco.

María Fe Suasnavas Herrera

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

David A. Egas , Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 21 de diciembre del 2016

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: María Fe Suasnavas Herrera

Código: 00107435

Cédula de Identidad: 1721845392

Lugar y fecha: Quito, 21 de diciembre del 2016

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de Titulación a mi hija María Elisa, quién ha sido no sólo mi compañera en este último año de estudios sino la inspiración diaria para lograr mis propósitos y la fuerza que me mueve a plantearme metas nuevas.

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres Eduardo Suasnavas y Dolores Herrera por el apoyo incondicional y el amor que me brindan día a día.
- Al Departamento de Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito por su excelente gestión.
- A Daniela Almeida, Coordinadora del Departamento por los conocimientos impartidos como docente y por el soporte académico y emocional brindado como amiga y mujer de forma especial en mi último año de estudios para poder culminarlos.
- A David Egas por la motivación a encaminarme en el mundo de la química, su acertada dirección del presente proyecto de titulación y por el apoyo académico brindado con ahínco y entusiasmo desde mis inicios en la carrera hasta la fecha.
- A Salomé Galeas y Víctor Guerrero del Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional por la colaboración en la realización de los análisis instrumentales de este proyecto.
- A Estefanía Dotti, Gerente de Asuntos Corporativos y Alejandro García, Jefe de Producción de Tesalia Springs Company por la amabilidad de recibirme en la empresa y proporcionarme información valiosa sobre el manejo del reciclaje y la gestión de desechos plásticos en la compañía.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la caracterización de diferentes muestras de desechos plásticos generados en la Universidad San Francisco de Quito utilizando técnicas analíticas tanto clásicas como instrumentales. El análisis clásico llevado a cabo consistió en identificar los diferentes tipos de polímeros en base a las características y propiedades físicas que presentó cada uno al ser sometidos a diferentes técnicas: combustión, diferencia de densidad y reacción química. Las pruebas de combustión se realizaron mediante el test de Beilstein y el método de la llama utilizando como fuente de ignición un mechero bunsen. Las características analizadas fueron cambios de color en la llama, olor y color del humo de combustión, generación de hollín y velocidad de combustión. Por otro lado, para las pruebas por diferencia de densidad se utilizaron solventes con distintas densidades como agua destilada, aceite de maíz y alcohol isopropílico en los cuales se sumergieron las muestras plásticas y se observó si éstas flotaban o se hundían. Adicionalmente, se utilizó ácido sulfúrico concentrado al 96% y acetona para las pruebas químicas tanto de reacción mediante hidrólisis ácida como disolución de los polímeros. De los análisis realizados se determinó que el polímero presente en mayor cantidad en los desechos plásticos corresponde al Polietilentereftalato (PET). Por lo tanto, se seleccionó una muestra exclusivamente de este polímero y fue analizada instrumentalmente usando espectrometría infrarroja y análisis térmico simultáneo tanto termogravimétrico como calórico (FTIR-TGA/DSC por sus siglas en inglés), obteniendo como resultado que las muestras efectivamente corresponden a PET. Finalmente, se diseñó tanto a escala de laboratorio como industrial un proceso para el tratamiento de este polímero y la fabricación de mesas móviles que se adapten a las sillas de las salas de cine del Paseo San Francisco.

Palabras clave: Polietilentereftalato, PET, análisis clásico de polímeros, reciclaje, mesas móviles, diseño, factibilidad.

ABSTRACT

The present work shows the characterization of different plastic waste samples generated at Universidad San Francisco de Quito using both classical and instrumental analytical techniques. The classical analysis carried out consisted in identifying the different types of polymers based on the characteristics and physical properties that each one presented when they were subjected to different techniques: combustion, density differences and chemical reaction. The combustion tests were performed through the Beilstein test and the flame method using a bunsen burner as the source of ignition. The characteristics analyzed were color changes in the flame, smell and color of the combustion smoke, soot generation and combustion rate. On the other hand, for the density difference tests, solvents with different densities such as distilled water, corn oil and isopropyl alcohol were used in which the plastic samples were immersed and observed if they floated or were sunk. In addition, 96% concentrated sulfuric acid and acetone were used for both, chemical reaction tests by acid hydrolysis and polymer dissolution. From the analyzes carried out, it was determined that the polymer present in the greatest quantity in plastic waste corresponds to Polyethyleneterephthalate (PET). Therefore, a sample exclusively of this polymer was selected and it was analyzed instrumentally using infrared spectrometry and simultaneous thermal analysis: thermogravimetric and caloric (FTIR - TGA/DSC), obtaining as a result that the samples actually correspond to PET. Finally, a process for the treatment of this polymer and the manufacture of movable tables that fit the chairs of the cinemas of the Paseo San Francisco were designed both on a laboratory and industrial scale.

Key words: Polyethylene terephthalate, PET, classical polymer analysis, recycling, mobile tables, design, feasibility.

TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA	1
HOJA DE CALIFICACIÓN	2
DERECHOS DE AUTOR	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
TABLA DE CONTENIDOS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
Introducción.....	14
Desarrollo del Tema	20
Parte experimental	20
Métodos y materiales.	20
Químicos y reactivos.....	20
Muestras.	20
Equipo TGA/DSC y condiciones.	20
FTIR	21
Equipo para calentamiento y condiciones.....	21
Caracterización de muestras mediante análisis clásico de polímeros	21
Método de la Llama.....	21
Código de Identificación	22
Secuencia pruebas para análisis clásico de polímeros	22
Prueba de Agua	24
Prueba de Beilstein.....	24
Prueba de Acetona.....	25
Prueba de Ácido Sulfúrico	25

Prueba de Alcohol Isopropílico.....	25
Prueba de Aceite de Maíz.....	25
Caracterización de muestras mediante análisis instrumental	25
TGA/DSC.....	25
FTIR	26
Resultados y discusión	27
Determinación de las proyecciones de generación de desechos para el 2016	27
Método de la Llama.....	31
Prueba del Agua	33
Método de Beilstein	34
Método del Alcohol Isopropílico	35
Prueba del Aceite de Maíz	36
Método de la Acetona	37
Método del ácido Sulfúrico	38
Análisis Instrumental de Polímeros	39
Pruebas de Tracción para PET Reciclado	41
Entrevista y Visita técnica a la Planta Embotelladora de Tesalia	41
Diseño de una planta de tratamiento para PET.....	43
Diagrama de Bloque.....	43
Balance de Materia.....	45
Diagrama PI&D del Proceso de Tratamiento de PET	47
Diseño de tableros móviles	53
Análisis de Factibilidad Económica	56
Análisis Económico Laboratorio de Tratamiento	56
Análisis Económico Implementación Planta Industrial	58
Conclusiones	60
ANEXOS	62
Referencias bibliográficas	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de plásticos y sus características	19
Tabla 2 Promedios Trimestrales de la generación de desechos plásticos Mar 2015-Mar 2016	28
Tabla 3 Factores de Estacionalidad para cada periodo.....	29
Tabla 4 Proyecciones Estacionales Abr-Dic 2016	29
Tabla 5 Estimación de variables Estadísticas para cálculo de la muestra	31
Tabla 6 Características de polímeros en combustión	32
Tabla 7 Densidad de los polímeros y agua destilada.....	33
Tabla 8 Peso de los componentes de una botella plástica vacía	46
Tabla 9 Balance de Materia PET	47
Tabla 10 Inversión Fija.....	56
Tabla 11 Costos de Producción	57
Tabla 12 Costos de Producción comprando materia prima externa	58
Tabla 13 Cotizaciones Planta completa de Tratamiento de PET.....	58
Tabla 14 Inversión Fija Planta Industrial	59
Tabla 15 Costos de Inversión Planta Industrial	59
Tabla 16 Terrenos.....	64
Tabla 17 Construcciones, obras civiles y adecuaciones	64
Tabla 18 Maquinaria y equipos	64
Tabla 19 Inversiones auxiliares	64
Tabla 20 Otros activos.....	65
Tabla 21 Materia Prima	66
Tabla 22 Mano de Obra Directa	66
Tabla 23 Mano de obra Indirecta.....	66

Tabla 24 Suministros	67
Tabla 25 Depreciación.....	67
Tabla 26 Asesoría Técnica	67
Tabla 27 Construcciones, obras civiles y adecuaciones	68
Tabla 28 Maquinaria y equipos	68
Tabla 29 Inversiones auxiliares	68
Tabla 30 Materia prima	69
Tabla 31 Mano de obra directa.....	69
Tabla 32 Suministros	69
Tabla 33 Depreciación.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Códigos de Identificación de Resinas Plásticas	22
Figura 2 Flujograma de pruebas clásicas para caracterización de polímeros.....	23
Figura 3 Comparación Generación de desechos USFQ 2015-2016.....	30
Figura 4 Caracterización de muestras mediante el método de la llama	32
Figura 5 Caracterización por diferencia de densidad en Agua.....	34
Figura 6 Caracterización de halógenos mediante Prueba de Beilstein.....	35
Figura 7 Caracterización por diferencia de densidad en Alcohol Isopropílico	36
Figura 8 Caracterización por diferencia de densidad en Aceite de Maíz	37
Figura 9 Caracterización por dilución en Acetona	38
Figura 10 Caracterización por Hidrólisis Ácida en H ₂ SO ₄	39
Figura 11 Espectros Experimentales PET	40
Figura 12 Espectro Teórico PET	40
Figura 13 Probeta obtenida de la fundición de los desechos plásticos.....	41
Figura 14 Diagrama de Bloque proceso de Tratamiento de PET.....	44
Figura 15 Diagrama de Flujo Proceso de Tratamiento Manual de PET.....	48
Figura 16 Diagrama PI&D industrial para el tratamiento de PET	50
Figura 17 Mecanismo de operación de un Separador Foucault.....	51
Figura 18 Funcionamiento Separador óptico.....	52
Figura 19 Dibujo Vistas de silla de Cine y sus dimensiones.....	53
Figura 20 Diseño y dimensiones de la mesa móvil	54
Figura 21 Simulación de la adaptación de los tableros a las sillas de las salas de cine del PSF	55
Figura 22 Pruebas por Diferencia de Densidad.....	71
Figura 23 Fotos Prueba de Beilstein.....	71

Figura 24 Fotos Prueba de Ácido Sulfúrico	71
Figura 25 Prueba de Acetona.....	71

Introducción

La Universidad San Francisco de Quito catalogada, por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (Ceaaces), como una institución de educación superior tipo A es una Universidad particular líder en el Ecuador por la formación integral de sus estudiantes en áreas de emprendimiento, desarrollo científico, tecnológico y cultural basada en la filosofía de Artes Liberales (Procesos Universitarios y Normativa Académica, 2016). Cuenta con una amplia oferta de carreras tanto de pregrado como de postgrado abarcando diversas áreas catedráticas como el arte, la ciencia, la literatura, el medio ambiente, la gastronomía, las ciencias sociales, humanidades y las ciencias médicas. Su calidad educativa está garantizada por el personal docente altamente calificado con el que cuenta y porque está dotada de infraestructura adecuada y perfectamente equipada para desempeñar las diversas actividades que cada especialidad requiere como laboratorios que cuentan con equipos de alta calidad y tecnología avanzada, una amplia biblioteca que alberga aproximadamente libros de diferente índole. Adicionalmente, cuenta con convenios en universidades en el exterior los cual amplía las oportunidades de los estudiantes y se caracteriza por mantener un ambiente inclusivo y respetuoso. Es por todos estos motivos que la Universidad San Francisco de Quito es una de las instituciones preferidas por los estudiantes al momento de decidir dónde realizar sus estudios universitarios. Esto se evidencia en el notable aumento en el número de estudiantes de esta institución en los últimos años. Actualmente, la universidad cuenta con 7768 estudiantes registrados hasta el mes de Agosto del presente año (Cruz, 2016). Debido a este incremento la universidad se ha visto en la obligación de expandir su campus académico haciendo uso de una porción de las instalaciones del Paseo San Francisco para brindar acogida a los nuevos estudiantes ofreciendo así espacios cómodos y

confortables en los cuales los estudiantes puedan asistir a clases sin ningún inconveniente. Sin embargo, como se trata de una expansión reciente y como todo cambio requiere de tiempo para llevarse a cabo existen algunos detalles que aún se deben implementar. Tal es el caso de las salas de cine que se convirtieron en aulas donde se dictan principalmente las clases de mayor demanda estudiantil como biología, química general, entre otras que cuentan un elevado número de estudiantes ya que son materias fundamentales y obligatorias para todos los estudiantes indistintamente de la carrera que sigan. Estas salas poseen capacidad para 240 personas cada una, son salas amplias con sillas cómodas y ergonómicas que guardan todas las especificaciones de confort que un centro de entretenimiento requiere. Estas características han contribuido a que estos espacios se conviertan fácilmente en aulas cómodas. Sin embargo, para brindar un ambiente propicio para el estudio es necesario implementar mesas o tableros que se acoplen a las sillas de estos teatros y de esta manera los estudiantes puedan acomodarse con sus útiles de manera adecuada y a su vez su aprovechamiento académico sea efectivo. Adicionalmente, el crecimiento de la población estudiantil de la universidad genera otro problema de tipo ambiental que consiste en el incremento en la generación de residuos, convirtiéndose la institución en un ente considerable de contaminación ocasionando un elevado grado de impacto ambiental. No obstante, la usfq como una entidad responsable y comprometida con el medio ambiente emplea el reciclaje como un medio para disminuir la contaminación. Al mismo tiempo a través de esta campaña permite que el personal de limpieza que se encarga de llevar a cabo la tarea de reciclaje obtenga un beneficio económico de la venta de estos desechos para costear el paseo anual que realizan para integrarse. Sin embargo, estos podrían utilizarse para fabricar los tableros y de esta forma suplir la necesidad que presenta la Universidad en este momento.

Históricamente la generación de residuos data desde los inicios del planeta tierra con la existencia de seres bióticos ya que estos como producto de su metabolismo generan residuos de tipo biológico y orgánico. Sin embargo, tras millones de años de evolución la generación de residuos ha ido incrementando y cambiando como resultado de factores tales como: el aumento de las poblaciones, el desarrollo de las destrezas y el intelecto del ser humano con el fin de adaptarse a las necesidades y mejorar su calidad de vida buscando siempre el confort y la optimización de sus herramientas con el fin de obtener beneficios materiales y comodidades. Posteriormente, con el inicio de las actividades económicas y la creciente demanda de los diferentes productos el ser humano se vio en la necesidad de aumentar su producción en un tiempo menor para así satisfacer la demanda de sus clientes y de esta forma fue como se fueron creando las primeras industrias en las cuales al inicio primaban las actividades de tipo manual que requerían mano de obra para ser realizadas. Sin embargo, al llegar la época de la revolución industrial comprendida a fines de los años 1800 e inicios de los años 1900 el objetivo fue darle una nueva perspectiva a la industria reemplazando un porcentaje de la mano de obra por máquinas encargadas de realizar en muchos casos el trabajo que antes era realizado de forma manual. Con esta revolución, se facilitó notablemente la producción, entró en vigencia la producción en serie pero lamentablemente con este progreso se instauró una cultura de derroche de recursos sin conciencia del impacto ambiental que se estaba empezando a gestar. Para el funcionamiento de las máquinas se empezó a utilizar recursos como agua, gases derivados del petróleo que tras la combustión generaban gases contaminantes, entre otros (Aristides Silva Otero, Mariela Mata de Grossi, 2005). Dejando de lado el cuidado ambiental y por el contrario explotando todos los recursos que se encontraban al paso con tal de obtener réditos económicos significantes. Así empezaron a clasificarse los residuos sólidos en residuos de tipo doméstico e industrial producidos principalmente por actividades

antropogénicas (Castells, 2005). La mayor cantidad de residuos cuantificados corresponde a desechos orgánicos, seguido de los desechos inorgánicos, siendo los desechos plásticos aquellos que representan la mayoría de los desechos sólidos inorgánicos generados en toda escala. Debido a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas el plástico constituye un material universal que es utilizado por todas las industrias del mercado a nivel mundial provocando la generación de grandes cantidades de desechos, los mismos que por su exagerado tiempo de vida útil y su lenta degradación aproximadamente 400 años ocupan un gran volumen de espacio en los rellenos sanitarios. Esto a su vez ocasiona la expansión de los mismos lo cual implica aumentar la contaminación de suelos y espacios en el mundo. Sin embargo, una ventaja de esta larga durabilidad que presentan es la capacidad que poseen para volver a ser utilizados en nuevos procesos y en la fabricación de nuevos productos tras pasar por una serie de procesos de tratamiento que garanticen sus condiciones de utilidad. El objetivo es disminuir el volumen de desechos en los rellenos sanitarios, evitar daños al medio ambiente y reducir costos de materia prima a nivel industrial.

Por su parte, la existencia del reciclaje se remonta a los inicios de la historia debido a la escasez de productos y a las necesidades amplias a las que estaban expuestas las personas. Por ello, se veían forzados a reutilizar los materiales que poseían para usar fabricar nuevos productos o herramientas que les fueran de utilidad para alguna actividad. Al inicio el reciclaje no era una actividad consciente como hoy en día, al contrario empezó como una necesidad por las carencias. Posteriormente, con la problemática ambiental que atraviesa el mundo ha surgido la idea del reciclaje como una actividad de consciencia, responsabilidad y compromiso tanto individual como social mediante la cual se busca reducir el impacto ambiental generado por los desechos y a su vez es una fuente de obtención de materias primas de menor costo que se han convertido en los últimos años en productos de gran

interés industrial. De forma específica en el Ecuador Intercia S.A. comenzó sus operaciones en el año 2002 despuntando como la institución líder en reciclaje. Es la empresa más antigua y la que abarca mayor capacidad de procesamiento hasta la actualidad (Intercia, 2016). Esta reconocida compañía se dedica al reciclaje de productos como plásticos, cartón, papel, y basura electrónica las mismas que son procesadas para posteriormente volver a convertirse en materia prima de la industria. La calidad de su producto final está certificado por: Licencia Ambiental No. 280 emitida por el Ministerio del Ambiente, Convenio de Basilea para exportar desechos peligroso a otros países, ISO en Gestión Ambiental 14001:2004, ISO en Gestión de Calidad 9001:2008, Registro de Generadores de Desechos Peligrosos No. 01-12-DPG-115 emitido por el Ministerio del Ambiente, Licencia Ambiental No. DMA-LA-2008-018 emitido por la M. I. Municipalidad de Guayaquil, Licencia Ambiental No. 2 emitido por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipio de Rumiñahui, Gestores Ambientales Tecnificados de Residuos No. 037-GRT emitido por el Distrito Metropolitano del Municipio de Quito, Certificado Ambiental Registro No. 0441-R-AZVT y Reconocimiento ambiental Punto Verde. Por otro lado,

Los plásticos están formados por cadenas largas de polímeros cuyo origen puede ser natural o sintético (Carragher, 2003). Los polímeros naturales como: la celulosa, el almidón, el caucho natural, entre otros son los precursores de las resinas sintéticas comúnmente usadas en la actualidad las mismas que son obtenidas de manera industrial. De esta forma tras una serie de investigaciones se crearon el polietileno, el policloruro de vinilo, el poliestireno, el teflón, el nylon entre otros (García, 2008). Existen dos tipos principales de polimerización: condensación y adición. La polimerización por adición también conocida como reacción en cadena consiste en la unión entre un ion o radical libre y los dobles enlaces de los monómeros se rompen dejando radicales libres que se unen a los radicales

libres de otro monómero y así se van formando las cadenas (Billmeyer). Por otro lado, la polimerización por etapas o por condensación consiste en la condensación entre dos moléculas polifuncionales para formar una molécula mayor eliminando moléculas pequeñas de agua (Billmeyer). La clasificación de los polímeros se basa en las características que presentan debido a su estructura y propiedades.

Tabla 1 Tipos de plásticos y sus características

Termoplásticos	Termoestables	Elastómeros	Espumados
Lineales	Entrecruzados	Dobles enlaces en cadena principal	Estructura llena de gas.
Solubles	Insolubles	Elevada Flexibilidad	Reducción de densidad
$T_g, T_m > T_{amb}$	Elevada resistencia térmica y química	Entrecruzamiento parcial	Menor conductividad térmica
Baja Resistencia Térmica	Rigidez	Buena regeneración	Disipación Acústica

DESARROLLO DEL TEMA

Parte experimental

Métodos y materiales.

Químicos y reactivos.

Agua destilada, ácido sulfúrico concentrado al 96% marca H.V.O., alcohol isopropílico de concentración desconocida marca H.V.O., acetona marca H.V.O y aceite de maíz marca Maizol.

Muestras.

Botellas plásticas desechadas de bebidas carbonatadas, bebidas isotónicas y funcionales, jugos, néctares y agua pertenecientes a las siguientes industrias de bebidas: Tesalia Springs Company (Empresa Ecuatoriana de Bebidas con 100 años de trayectoria en la Sierra) en alianza con Compañía Tropical de Bebidas (60 años de trayectoria en la Costa y el Austro) y The Coca Cola Company. Platos, vasos y cubiertos desechables (marcas no identificadas).

Equipo TGA/DSC y condiciones.

Se caracterizó mediante un analizador térmico simultáneo marca TA Instruments por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), por sus siglas en inglés código Q2000 que opera en un rango de -90 a 450°C y está equipado con sistema de enfriamiento RSC y Análisis Termogravimétrico (TGA) código Q500 con rango de operación entre temperatura ambiente y 1000°C.

FTIR

Se ha utilizado un espectrómetro infrarrojo marca PerkinElmer modelo Spotlight200i-FT-IR equipado con módulo ATR para máxima flexibilidad de análisis y en el menor tiempo posible (PerkinElmer, 2015)

Equipo para calentamiento y condiciones.

Se ha utilizado el mechero de Bunsen con quemador de tubo recto y llama ajustable en un rango entre $\frac{3}{4}$ y 12", salida de calor de 1465 W y consumo de 5 pies cúbicos de gas /hora. Posee regulador de llama variable y controlador de llama y aire para garantizar la combustión completa, La conexión a gas es de tipo cónico y dentado equipado con manguera para gas de doble revestimiento.

Caracterización de muestras mediante análisis clásico de polímeros

Método de la Llama

Se ha recolectado aleatoriamente muestras de envases plásticos desechados en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito, posteriormente se ha lavado las mismas y se ha clasificado según su tipo. Posteriormente se fraccionó las muestras cortando en pequeñas partes y se procedió a enumerar cada una de ellas. A continuación se conectó el mechero Bunsen a la toma de gas y se encendió por medio de un chispero. Utilizando pinzas de laboratorio se tomó de forma individual cada una de las muestras y se las sometió a la llama para combustionarlas. Durante la combustión de las mismas se analizó características como olor, color del humo de combustión, presencia o ausencia de goteo, generación o no de hollín, velocidad de consumo y color de la llama. De acuerdo a las características propias de cada material se clasificó como Polietilentereftalato (PET), Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Polivinil cloruro (PVC), y Poliestireno (PS).

Código de Identificación

Se corroboró los resultados obtenidos de la prueba de la llama mediante el código de identificación grabado en algunos de los envases desechados. El código de identificación está dado por un número que se encuentra encerrado por un símbolo de forma geométrica triangular formado por tres flechas. De manera general en el caso de envases de bebidas este símbolo se encuentra grabado en la parte inferior de las mismas. Cada número representa un polímero. La figura 1 que se expone a continuación recopila los números correspondientes a cada tipo de polímero (Sociedad de la Industria de Plásticos, 1998).



Figura 1 Códigos de Identificación de Resinas Plásticas

Secuencia pruebas para análisis clásico de polímeros

Se identificó el tipo de polímero del cual están fabricadas las muestras tomadas siguiendo una secuencia de pruebas que se recogen en el diagrama de flujo que se muestra a continuación. Las pruebas consisten en analizar las propiedades físicas y químicas que poseen las muestras al someterse a cada una de ellas (Krantz, 1998).

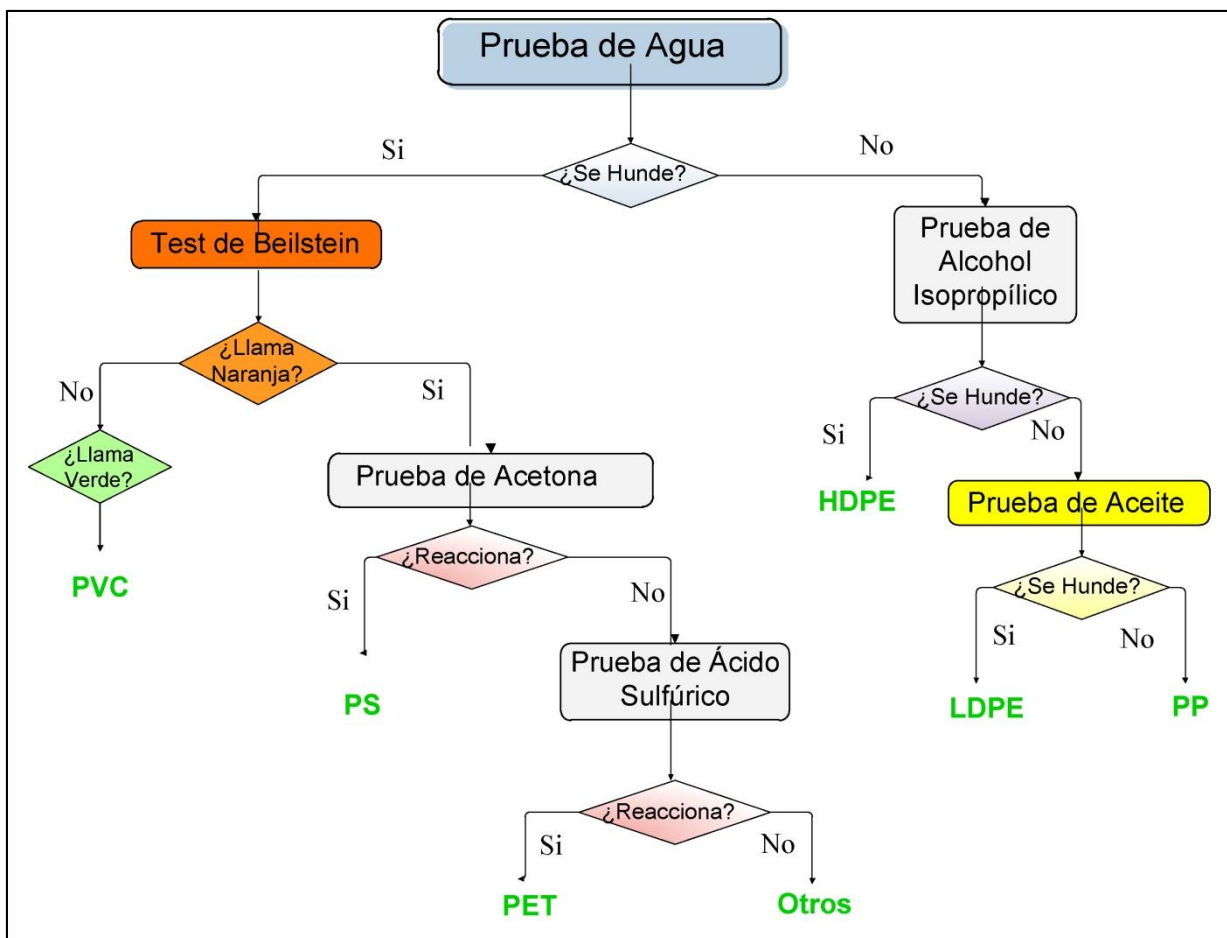


Figura 2 Flujograma de pruebas clásicas para caracterización de polímeros

Como se puede observar en el diagrama todas las muestras se someten en primera instancia a la prueba del agua destilada. Por efectos de la diferencia de densidad entre los materiales y este solvente se clasifica en dos grupos a los ejemplares, aquellas que flotan y las que no. A continuación, las que se hundieron en el agua pasan a la prueba de Beilstein para ser caracterizadas mediante el color de llama que presentan cuando se someten a un proceso de combustión. De esta manera se procede a la primera caracterización, aquellas que provocan un cambio de color en la llama (verde) son las que están conformadas de PVC, o al menos contienen trazas de este polímero. Caso contrario, si no presentan cambios éstas muestras pasan a la prueba de acetona, la misma que se utiliza para determinar poliestireno mediante la disolución del mismo en dicho solvente. De igual forma, aquellas que no se diluyeron

fueron sometidas a la prueba del ácido sulfúrico en la cual se determinó el PET mediante la reacción química generada por la hidrólisis ácida del material. Finalmente, para las muestras que desde un principio flotaron en agua se aplicó tanto la prueba del alcohol isopropílico como la del aceite de maíz que de igual forma por diferencia de densidades se determinó si es HDPE o LDPE y PP respectivamente.

Prueba de Agua

Se colocó 5 mL de agua destilada en tubos de ensayo y a continuación se sumergió pequeños pedazos de plástico con el fin de determinar si se hunden o flotan en el agua debido a la acción de las diferencias densidad del agua y las muestras de las resinas de polímeros.

Prueba de Beilstein

Se conectó el mechero Bunsen a la toma de gas asegurando que no existan fugas y se encendió el instrumento con un chispero. A continuación se sometió a la llama uno de los extremos de un cable de cobre de 10 cm de largo sujetándolo por el otro extremo con un corcho para evitar quemaduras por la transmisión de calor en el cable. Una vez que se calentó el cable lo suficiente como para derretir una porción de muestra plástica se colocó el cable caliente sobre cada una de las muestras para que se adhieran a las paredes calientes del cable y se llevó nuevamente a la llama para ver el cambio de color de la llama producido por la presencia de halógenos en las resinas poliméricas bajo estudio. El halógeno comúnmente utilizado en resinas plásticas sintéticas es el cloro o los cloruros.

Prueba de Acetona

Para caracterizar polímeros de tipo polar se colocó 5 ml de acetona en tubos de ensayo y se sumergió en ella pequeños pedazos de muestras. El objetivo de la prueba es disolver polímeros no polares empleando un disolvente no polar. De esta forma fue posible caracterizar el poliestireno mediante la disolución de éste en el solvente.

Prueba de Ácido Sulfúrico

Se colocó 5 ml de ácido sulfúrico concentrado al 96% en tubos de ensayo, se colocó en ellos las muestras plásticas y a continuación se calentó a baño María por un periodo de tiempo aproximado de 30 minutos. Posteriormente se dejó enfriar las muestras y se pasó el contenido de los tubos de ensayo a un matraz, el cual se dejó en reposo por 24 horas para verificar la formación de precipitado de color blanco y la disolución de las muestras.

Prueba de Alcohol Isopropílico

Se colocó 5 ml de alcohol isopropílico en tubos de ensayo y se sumergió las muestras para verificar si flotan o no por diferencia de densidad.

Prueba de Aceite de Maíz

Se sumergió las muestras en 5 ml de aceite de maíz y se verificó que se hundan o floten por densidad.

Caracterización de muestras mediante análisis instrumental

TGA/DSC

Se redujo de tamaño las muestras plásticas a hojuelas y se pesó 150 gramos de estas. Se envió la muestra a la Escuela Politécnica Nacional dónde se caracterizó instrumentalmente

utilizando un analizador térmico simultáneo que se encarga de estudiar el cambio de las propiedades que presenta la muestra en estudio al existir variaciones de temperatura mediante un método combinado de análisis termogravimétrico y calórico (Linseis Thermal Analysis, 2012).

FTIR

Adicionalmente, se caracterizó la muestra por análisis infrarrojo para corroborar los resultados. La espectrometría infrarroja es una de las técnicas analíticas de mayor importancia ya que con ella se puede analizar casi todo tipo de muestras independientemente del estado en el que se encuentren, Esta técnica consiste en emitir radiación infrarroja sobre las muestras y determinar la fracción de radiación absorbida a una determinada energía que corresponde a los grupos funcionales específicos en cada molécula. Este equipo posee alta sensibilidad y el tiempo de obtención de los resultados es aceptable (Stuart, 2004).

Resultados y discusión

Determinación de las proyecciones de generación de desechos para el 2016

La población de desechos sólidos es tan grande que alcanza los 9 millones de toneladas por año a nivel mundial (Jenna R. Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara Lavender Law, 2015). Sin embargo, la población de interés para este estudio se centra en los desechos plásticos generados en la Universidad San Francisco de Quito. De acuerdo al último reporte anual de reciclaje proporcionado por el personal de limpieza de la institución desde el mes de marzo del 2015 a marzo del 2016 se han generado un promedio de 115,67 Kg de desechos plásticos. Para obtener la cantidad de desechos estimada para los meses restantes del año 2016 se realizó una proyección de tipo estacional o también conocida como cíclica debido a las fluctuaciones que presentan las variables en los datos recogidos. En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de las proyecciones mensuales desde abril hasta diciembre del presente año.

Tabla 2 Promedios Trimestrales de la generación de desechos plásticos Mar 2015- Mar 2016

Periodo	Mes	Año	Cantidad [Kg]
3	Marzo	2015	163
4	Abril	2015	134
5	Mayo	2015	120
		X	139
6	Junio	2015	92
7	Julio	2015	81
8	Agosto	2015	58
		X	77
9	Septiembre	2015	80
10	Octubre	2015	142
11	Noviembre	2015	120
		X	114
12	Diciembre	2015	130
1	Enero	2016	115
2	Febrero	2016	153
		X	132,67
3	Marzo	2016	195,88
Promedio General		Xg	115,67

Para la estimación de las proyecciones se dividió los datos existentes en periodos trimestrales obteniendo como resultado 4 periodos. De cada periodo se obtuvo un promedio y con ellos posteriormente se calculó un promedio general utilizando la ecuación estadística 1 para cálculo de promedio.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Ecuación 1 Ecuación para cálculo de Promedio de n variables

Después se calculó el factor de estacionalidad para cada periodo dividiendo el promedio parcial para el promedio total de todos los periodos. La tabla 3 resume los valores de los factores estacionales.

Tabla 3 Factores de Estacionalidad para cada periodo

Factores de Estacionalidad	Valor
X ₁	1,20
X ₂	0,67
X ₃	0,99
X ₄	1,15

Finalmente, se asumió un incremento en la población estudiantil del 2% y se procedió a realizar la proyección de los meses comprendidos desde Abril hasta Diciembre del 2016, multiplicando el valor existente para los meses correspondientes del año 2015 por el factor de estacionalidad trimestral y por el porcentaje de incremento. De esta forma la tabla 4 muestra los valores de las proyecciones para los meses restantes del presente año.

Tabla 4 Proyecciones Estacionales Abr-Dic 2016

Periodo	Mes	Año	Cantidad [Kg]
4	Abril	2016	161,03
5	Mayo	2016	144,21
6	Junio	2016	61,24
7	Julio	2016	53,92
8	Agosto	2016	38,61
9	Septiembre	2016	78,85
10	Octubre	2016	139,95
11	Noviembre	2016	118,27
12	Diciembre	2016	149,11

Finalmente, se plasmó los datos en la figura 3. Se trata de una gráfica comparativa que contrasta la cantidad de desechos plásticos generados en la Universidad San Francisco de Quito en el año 2015 y en el año 2016.

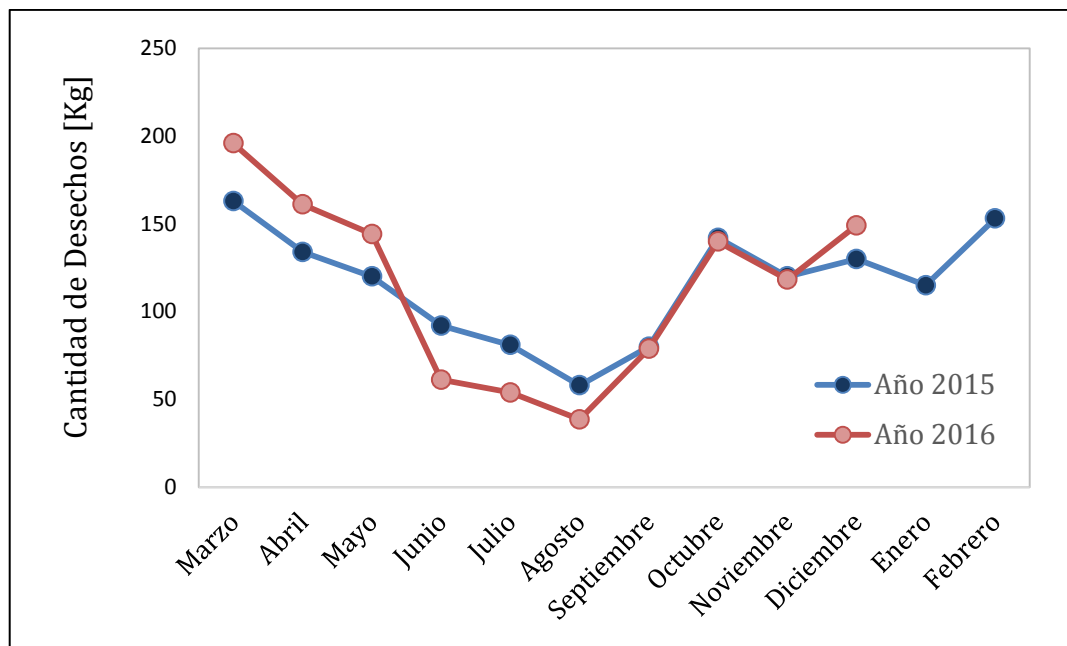


Figura 3 Comparación Generación de desechos USFQ 2015-2016

De la gráfica previa se puede destacar dos características principales. En primer lugar, se puede observar que la generación de desechos plásticos varía de forma estacional ya que se aprecia una disminución durante los meses en los cuales la universidad está en periodo de vacaciones (Mayo-Agosto, Diciembre) e incrementa cuando está en vigencia el periodo escolar. En segundo lugar, se aprecia un incremento en la generación de desechos de forma general en el año 2016 lo cual evidencia el crecimiento estudiantil de la USFQ.

Determinación de los tamaños de muestra para el experimento

El número de muestras seleccionado para esta investigación se basó en el concepto de saturación y en el juicio del investigador por tratarse de un análisis de tipo cualitativo. El concepto de saturación establece que se ha llegado a un número adecuado de muestra cuando se han analizado una amplia gama de opciones y las siguientes muestras ya no aportan con información nueva o relevante a la investigación (Glaser, B. y Strauss, A., 1967). Sin embargo, para poder determinar este parámetro es importante el juicio del

investigador ya que según su buen criterio se determinará el número de muestras (Anselm Strauss, Juliet Corbin, 2002). Sin embargo, de manera numérica se estimó el tamaño de muestra adecuado para realizar el análisis de caracterización mediante la ecuación estadística a continuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{d^2}$$

Ecuación 2 Fórmula para estimación del tamaño muestral

Dónde z es el nivel de confianza del 95%, p es la probabilidad de éxito, q por el contrario es la probabilidad de fracaso las mismas que comparten el 50% y d se refiere a la precisión que en este caso es del 10% como se resume en la tabla 5.

Tabla 5 Estimación de variables Estadísticas para cálculo de la muestra

P	0,5
Q	0,5
Z	1,96
D	0,08
n	150,06
	150

De esta manera se determinó que la muestra a analizar será de 150 elementos plásticos desechados.

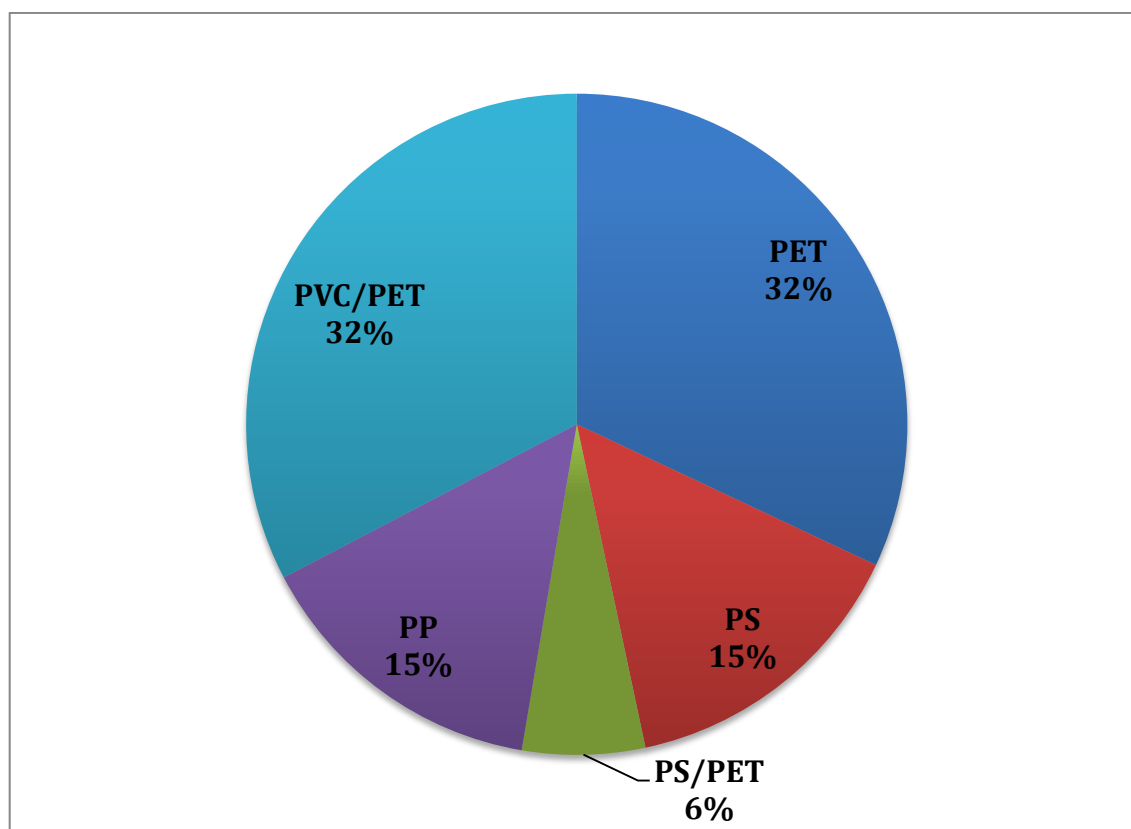
Método de la Llama

El método de la llama consistió en evaluar las características de los materiales plásticos durante la combustión para determinar qué tipo de resina plástica es. La tabla 6 resume las características representativas de cada polímero en combustión.

Tabla 6 Características de polímeros en combustión

PET	PP	PE	PVC	PS
Quema rápidamente, olor a parafina y humo blanco	Se consume lentamente los gases alimentan la llama	Llama azul transparente y goteo en el fundir	Se enciende y se extingue en el apartar de la llama olor agrio	Humo negro, se quema rápidamente, olor fuerte a gas, grandes cantidades de hollín

De esta primera aproximación se obtuvo que 47 muestras corresponden a PET, 32 a poliestireno, 49 a una mezcla de pet con pvc y 22 muestras corresponden a polipropileno como se muestra en la gráfica a continuación.

**Figura 4 Caracterización de muestras mediante el método de la llama**

Como se puede observar en la gráfica los porcentajes más altos coinciden en valor y corresponden al copolímero de PET y PVC proveniente de las etiquetas de los envases

plásticos y al PET correspondiente al cuerpo de los mismos. Por otro lado, el poliestireno y el polipropileno son las siguientes resinas encontradas en mayor cantidad las mismas que provienen principalmente de platos, vasos, tapas, anillos y cubiertos desechables.

Prueba del Agua

Al sumergir las muestras plásticas en agua destilada el resultado obtenido fue que las muestras en su mayoría flotaron. Este fenómeno ocurre debido a la diferencia de densidades existentes entre el agua y las diferentes muestras bajo estudio. La densidad es una propiedad física de los materiales que relaciona la cantidad de masa con el volumen de los mismos. La tabla 2 se muestra las densidades propias de cada resina de polímero y la del agua destilada.

Tabla 7 Densidad de los polímeros y agua destilada

Polímero	Valor	Unidad
PET	1380	Kg/m ³
PS	1040	Kg/m ³
PP	946	Kg/m ³
HDPE	945-960	Kg/m ³
LDPE	920-940	Kg/m ³
PVC	1400	Kg/m ³
AGUA	1000	Kg/m ³

En condiciones ideales a partir de estos valores se puede arrojar una predicción preliminar que consiste en que todos los polímeros a excepción del PET y el PS deberían flotar en el agua debido a que su densidad es menor que la de esta última. Sin embargo, esta deducción no se aplicó experimentalmente para el poliestireno ya que al ser poliestireno expandido este disminuye su densidad debido a que posee 5% aproximadamente de gas entre sus

capas lo cual hace que flote en al agua. De todas las muestras analizadas la mayoría flotan y el error de esta prueba está dado por el poliestireno.

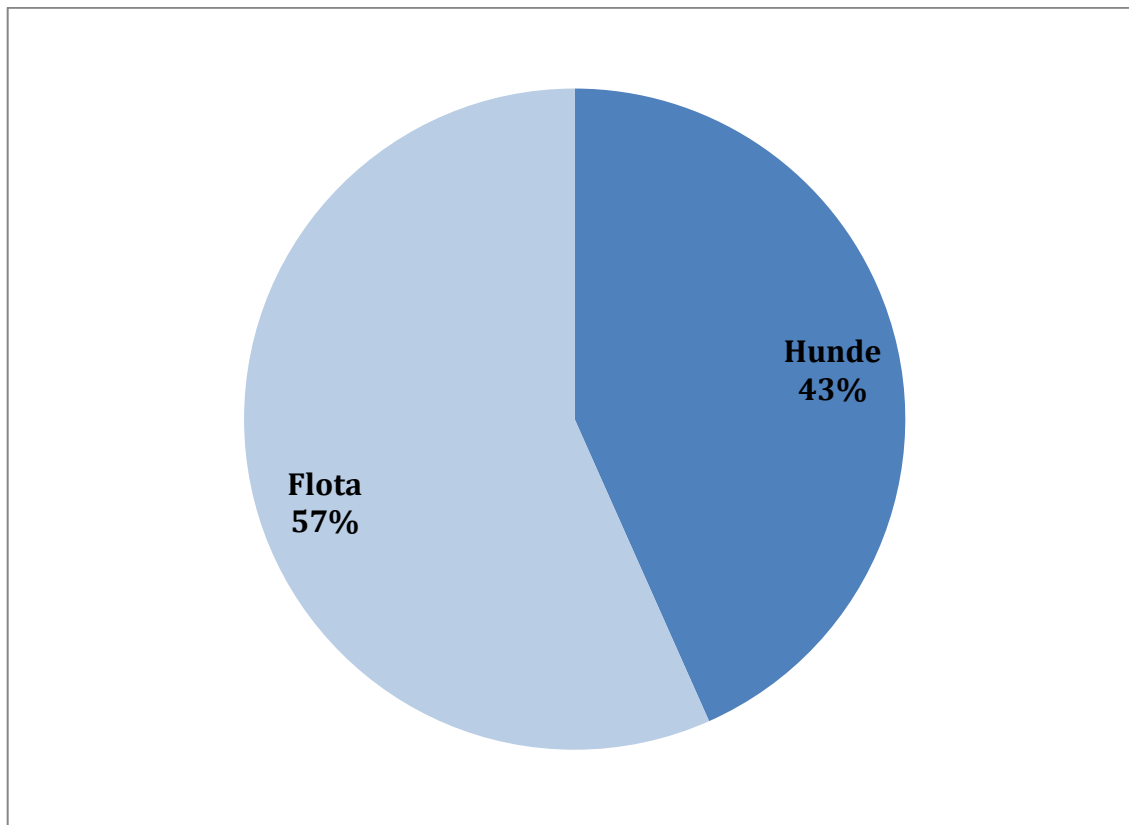


Figura 5 Caracterización por diferencia de densidad en Agua

Como se puede observar en la gráfica, la mayoría de las muestras bajo análisis flotan. A primera vista este es un indicador de que la mayoría de los polímeros se van a concentrar en HDPE, LDPE, y PP. Sin embargo, esto no es así ya que el poliestireno distorsiona la distribución por su carácter gaseoso.

Método de Beilstein

Las muestras que se hundieron en agua destilada en la prueba anterior fueron sometidas a la prueba de Beilstein. Como resultado se obtuvo que la mayoría de las muestras estudiadas no cambiaron el color de la llama se mantuvo en un color naranja – amarillo sin

variaciones importantes. A continuación las muestras más numerosas corresponden a aquellas que si cambiaron notablemente el color de la llama produciendo un color verde en la misma. Esto se debe a la presencia de cloruros en las muestras lo cual lleva a concluir que estas muestras son de PVC o al menos contienen trazas de esta resina. El tercer polímero en cantidad caracterizado por medio de este método fue el poliestireno el cual si bien no generó cambios en el color de la llama como producto de su combustión se generó humo negro y hollín lo cual permite concluir que el material es poliestireno debido al elevado número de carbonos que poseen su cadena principal.

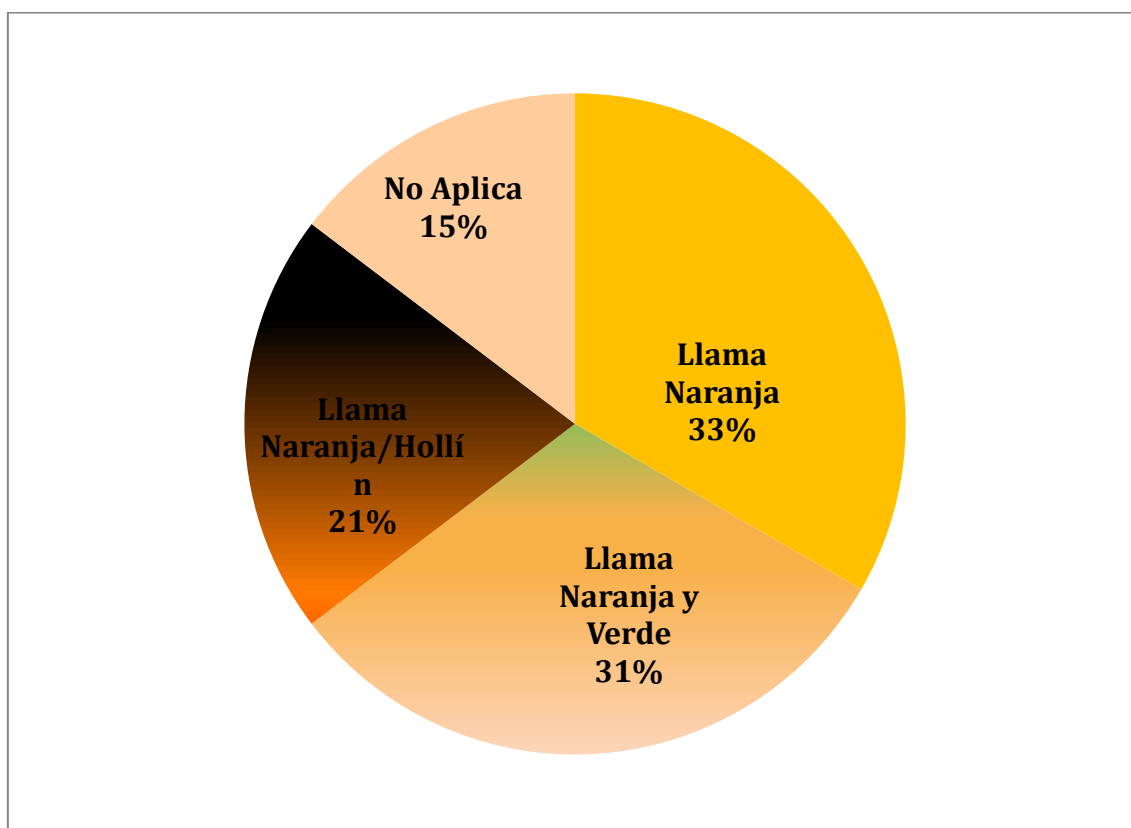


Figura 6 Caracterización de halógenos mediante Prueba de Beilstein

Método del Alcohol Isopropílico

De las muestras que flotaron en agua se sometieron a otra prueba de diferencia de densidad pero en alcohol isopropílico concentrado. El resultado obtenido como se puede ver en la

imagen a continuación es apenas el 15% de ellas flotaron y el 43% se hundieron. Sin embargo, la mayoría de las muestras que flotaron son poliestireno expandido, lo cual no es precisamente un resultado que contribuya al análisis ya que una vez más la flotabilidad de este material se debe a la presencia de aire entre sus capas. Mediante esta prueba se determinó que las muestras que se hundieron son polietileno de alta Densidad (HDPE).

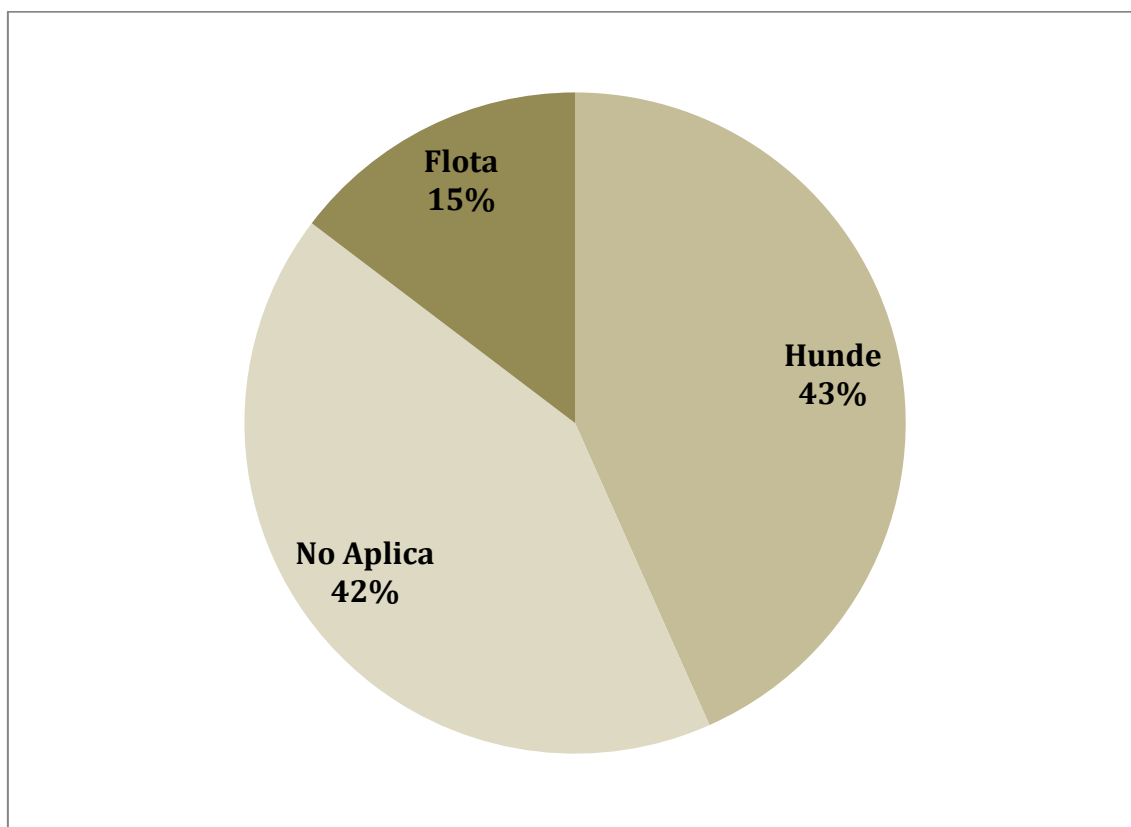


Figura 7 Caracterización por diferencia de densidad en Alcohol Isopropílico

Prueba del Aceite de Maíz

Mediante esta prueba fue posible concluir que la mayoría de las muestras sometidas a esta prueba flotan dando como resultado que la mayoría corresponden a Polipropileno y el 9% de ellas son polietileno de baja densidad.

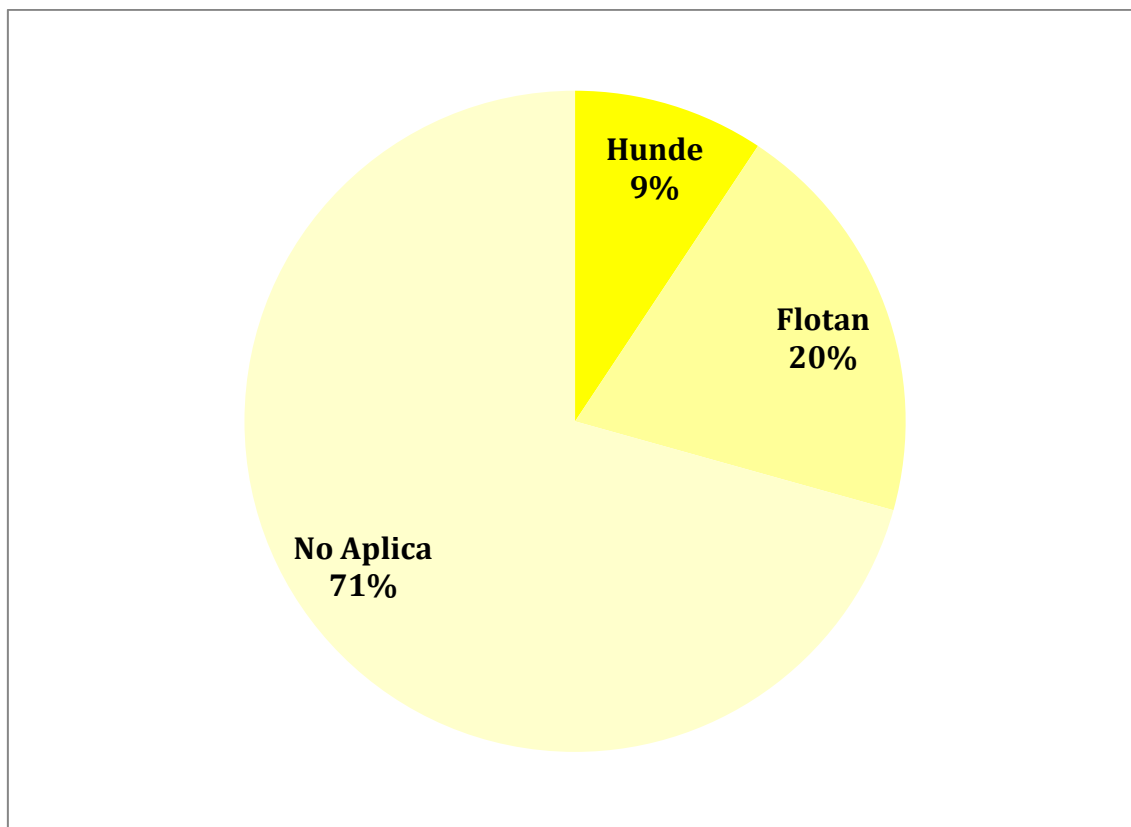


Figura 8 Caracterización por diferencia de densidad en Aceite de Maíz

Método de la Acetona

Se caracterizó poliestireno mediante la disolución del material en la acetona. En primer lugar se generó un burbujeo correspondiente a la evaporación de las capas de gas del material y posterior a esto el plástico se volvió de consistencia pegajosa y elástica. El 20% de las muestras analizadas corresponden a este polímero.

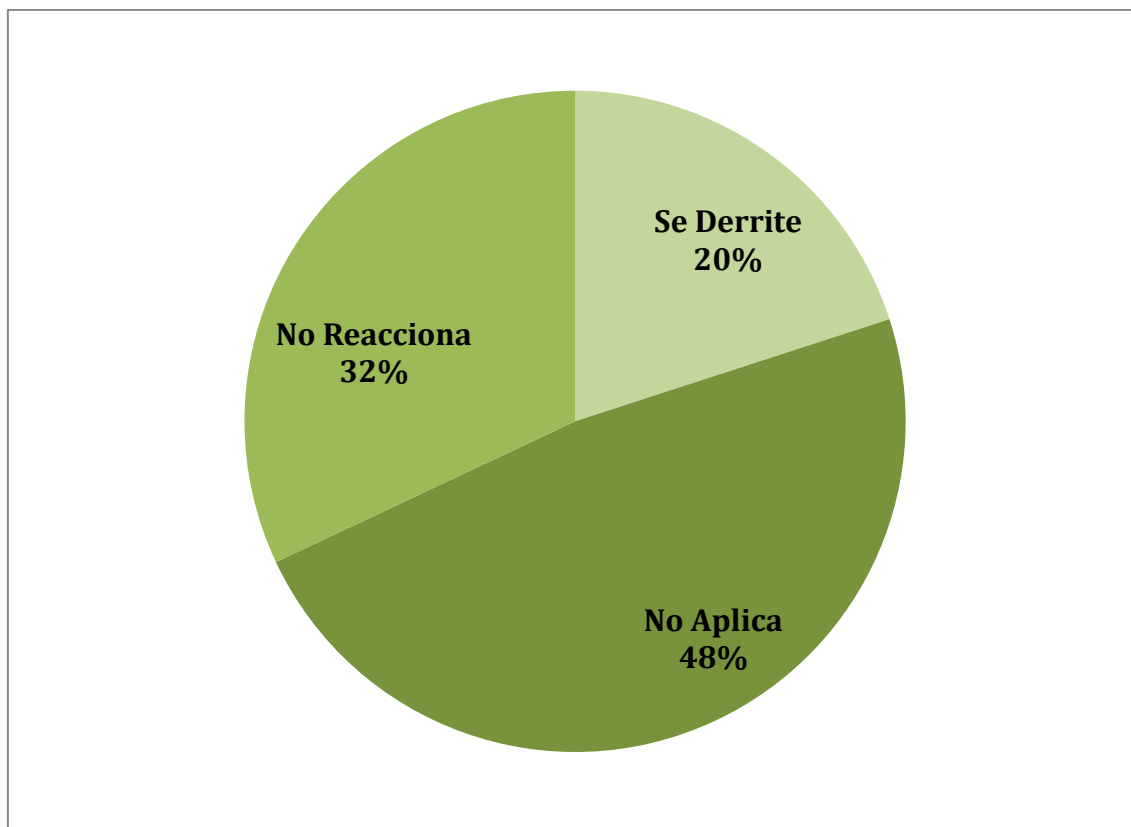


Figura 9 Caracterización por dilución en Acetona

Método del ácido Sulfúrico

Se determinó PET gracias a la hidrólisis ácida provocada en esta prueba. El resultado consistió en la generación de precipitado blanco y la disolución completa del material cuando es calentado en ácido sulfúrico. De esta forma se determinó que el 32% es PET como lo muestra la imagen a continuación.

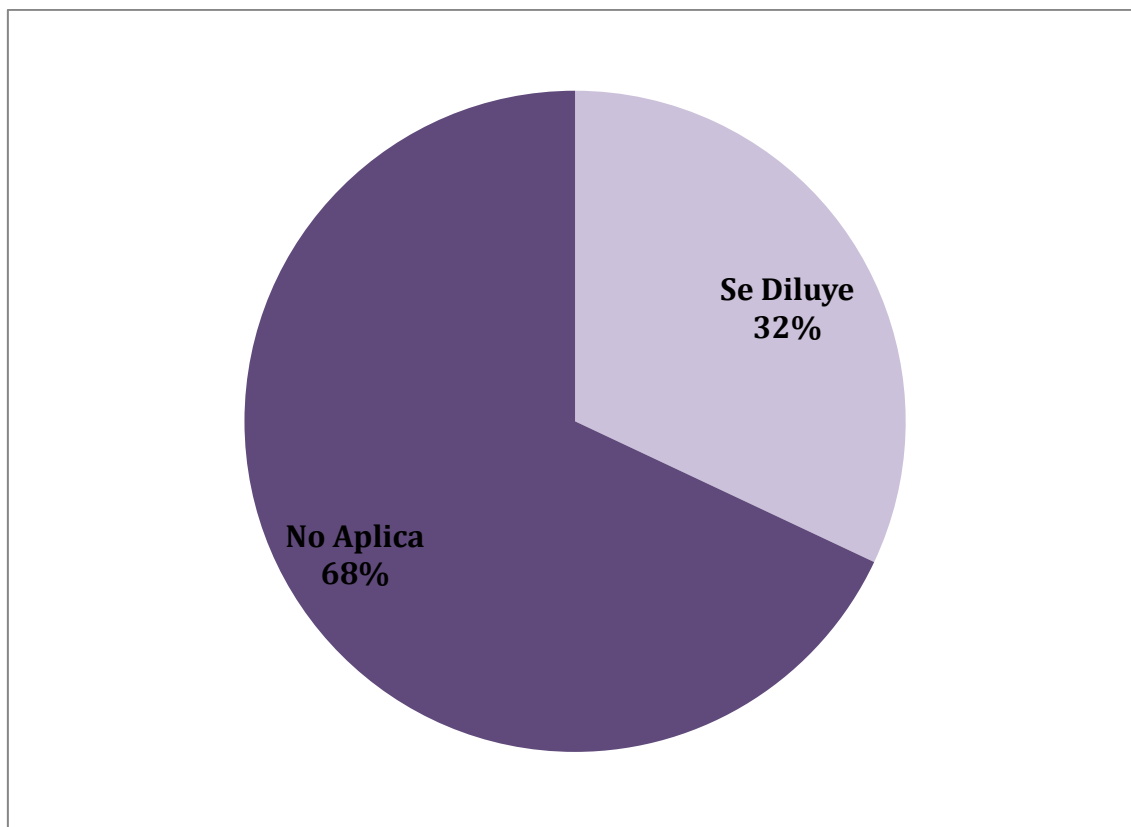


Figura 10 Caracterización por Hidrólisis Ácida en H₂SO₄

Análisis Instrumental de Polímeros

Se utilizó análisis por infrarrojo y térmico para constatar que efectivamente la resina encontrada en su mayoría corresponde a PET. Las imágenes a continuación muestran los espectros obtenidos en ambos analizadores y al contrastarlos con los espectros teóricos es evidente su similitud lo que lleva a concluir de forma definitiva que se trata de PET. Sin embargo, los resultados arrojan que la resina de PET no es pura contiene hasta un 15% de resina ya reciclada. Esto permitiría inferir que las industrias embotelladoras ya expenden sus productos en envases que han pasado por un proceso de reciclado.

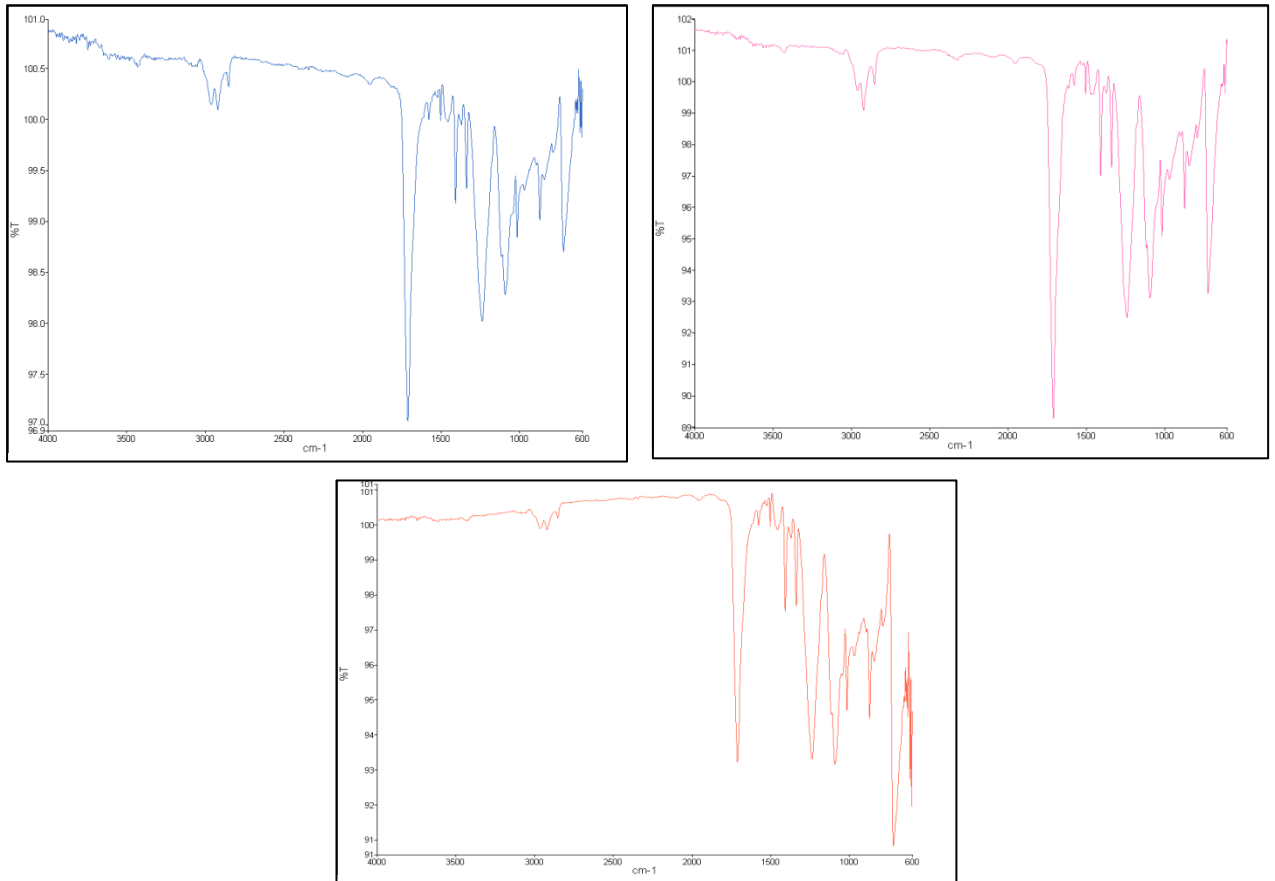


Figura 11 Espectros Experimentales PET

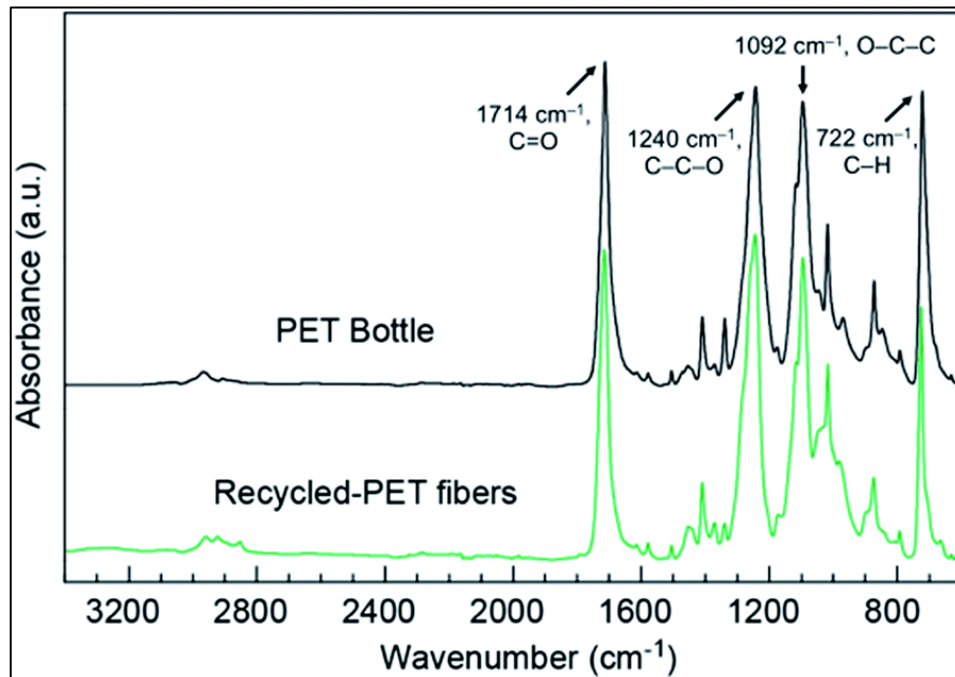


Figura 12 Espectro Teórico PET

Fuente: Royal Society Of Chemistry, 2014

Como se puede observar, al comparar ambas imágenes el esquema general de los espectros es similar. Sin embargo, la única diferencia notoria se encuentra en el rango de 800 a 1200 cm^{-1} .

Pruebas de Tracción para PET Reciclado

Como parte del proyecto se esperaba poder realizar pruebas de tracción de los desechos plásticos para evaluar la elasticidad, elongación y esfuerzo último de las mismas. Para ello, era necesario fabricar probetas de 25 cm x 2,5 cm x 2 mm de dimensión. Sin embargo, no fue viable realizar las pruebas debido a que fue imposible obtener dimensionamiento plano y homogéneo de las probetas porque al disolver las muestras unas se quemaban rápidamente, otras se fundían y otras seguían sin presentar cambios dando como resultado una masa sin consistencia definida que no era apta para el análisis.



Figura 13 Probeta obtenida de la fundición de los desechos plásticos

Entrevista y Visita técnica a la Planta Embotelladora de Tesalia

Se planificó una visita técnica a la empresa Tesalia Springs Company ubicada en el cantón Mejía. La guía y el asesoramiento estuvo a cargo del Ing. Alejandro García, Jefe de Producción para la firma. Esta visita se enfocó principalmente en las políticas de reciclaje

y gestión de residuos con las que cuenta la compañía. La empresa actualmente utiliza resina 100% virgen de polietilentereftalato para la fabricación de los pellets de las botellas para sus bebidas. Sin embargo, anteriormente se realizó pruebas mezclando 25% resina reciclada y 75% resina virgen y los resultados obtenidos no fueron satisfactorios ya que las botellas salían con manchas y propiedades muy débiles que no satisfacían los estándares de calidad con las que trabajan. Por este motivo, ahora se están haciendo estudios con resina mezclada únicamente al 10% para ver si así mejoran las características del producto final. Adicionalmente, la planta cuenta con su propio centro de acopio de desechos plásticos que salen del proceso productivo. Mensualmente se generan 5 toneladas de desechos plásticos pero con ellos fabrican techos traslúcidos o procesan los plásticos y venden el material molido a otras empresas embotelladoras en la provincia de Guayaquil.

Diseño de una planta de tratamiento para PET

Diagrama de Bloque

El tratamiento de polietilentereftalato (PET) reciclado consiste principalmente en la reducción de tamaño del material y una limpieza profunda lo cual garantiza su reutilizabilidad en otros productos. Al ser desechos estos están contaminados de diversas fuentes de las que provienen. Uno de los principales parámetros de calidad del producto es la higiene. Las principales operaciones unitarias que requiere el proceso de tratamiento son la reducción de tamaño, separación y limpieza. Como se muestra en el diagrama a continuación.

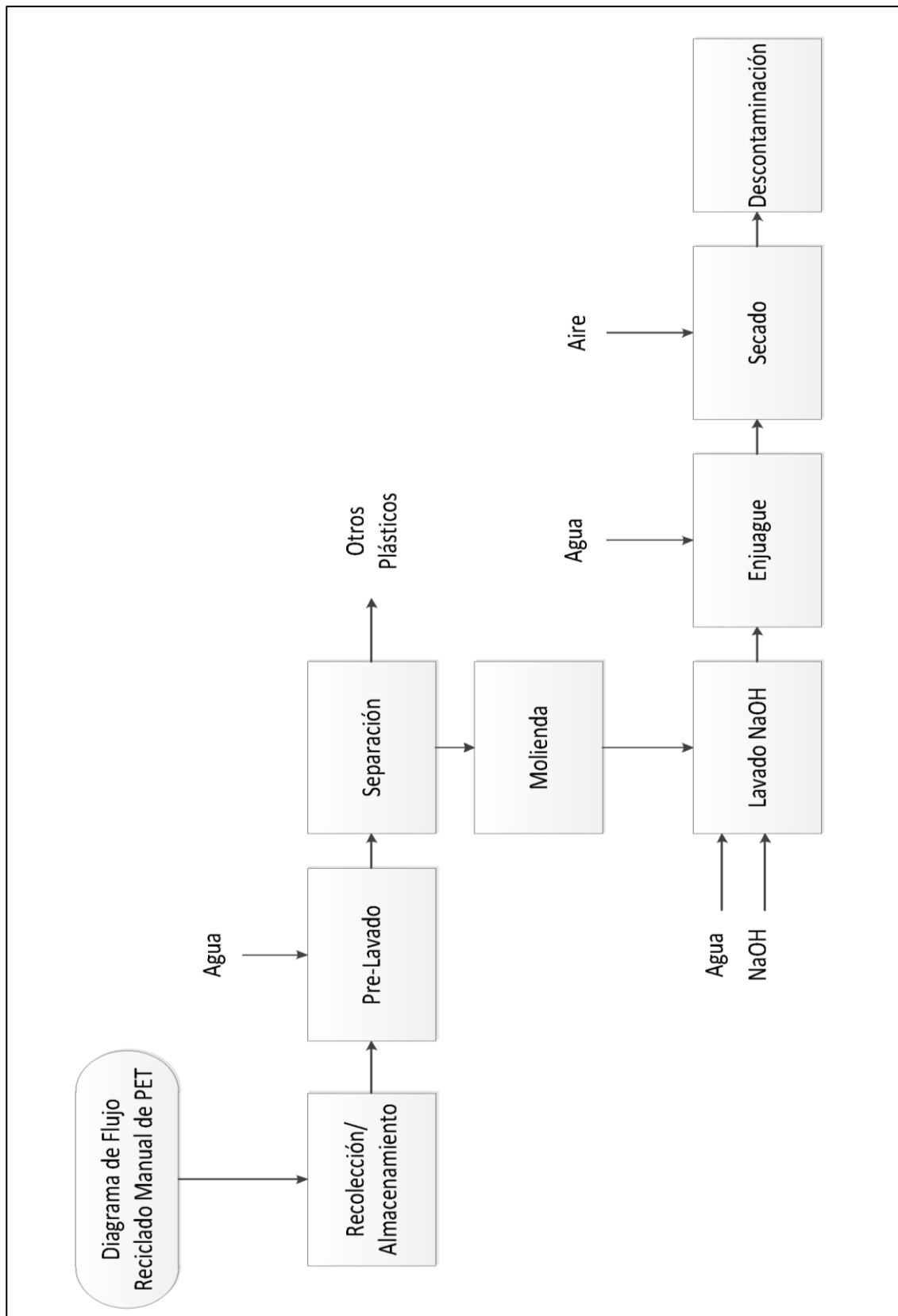


Figura 14 Diagrama de Bloque proceso de Tratamiento de PET

De la figura 4 se puede ver que el proceso de tratamiento comienza con el reciclaje del material a tratar mediante la recolección y almacenamiento de los desechos plásticos. Luego, estos son prelavados para retirar las impurezas superficiales que puedan existir y a continuación pasan a un proceso de separación en el cual se retiran metales en el caso de existir la presencia de estos y adicionalmente se retiran los plásticos que no corresponden a la resina de interés para el proceso. Posteriormente una vez clasificado exclusivamente el polietilentereftalato este es reducido de tamaño a hojuelas de aproximadamente 12 mm de dimensión. Posteriormente las hojuelas son sometidas a un lavado químico utilizando NaOH y agua caliente para eliminar los residuos orgánicos. Consecutivamente son enjuagados y pasan al proceso de secado para evaporar el contenido de humedad remanente en el material (KronesMetaPure). Finalmente, el material que va a ser utilizado nuevamente en envases para alimentos pasa a un proceso de descontaminación, el cual consiste en calentar la resina hasta alcanzar su temperatura de descontaminación que alcanza los 200°C (Izabela Steinborn, Gabriel Rokicki, 2013).

Balance de Materia

Una vez establecidas las operaciones del proceso se determinó el número de materiales necesarios para el mismo y a su vez la cantidad de procesamiento. Para ello se pesó cada componente de las botellas recogidas y se determinó la masa aproximada sólo de polietilentereftalato. En la tabla 8 se encuentran desglosados los componentes de las botellas y su peso correspondiente en gramos.

Tabla 8 Peso de los componentes de una botella plástica vacía

Peso Botella		
Componentes	Valor	Unidad
Anillo	0,3	[g]
Tapa	2,1	[g]
Cuerpo	18,8	[g]

Como se puede observar el peso del anillo que asegura la tapa de las botellas es prácticamente despreciable por su mínimo peso. En el caso de la tapa, esta registra una masa mayor, sin embargo, es una magnitud pequeña comparada con la del peso del cuerpo de la botella de esta forma se concluyó que la resina que se encuentra en mayor cantidad es el PET debido a que la mayor cantidad de masa de una botella se encuentra concentrada en el cuerpo cuyo material es en esencia PET. Cabe recalcar que las etiquetas fueron descartadas de la medición debido a su insignificante contribución para la investigación. A continuación se calculó la cantidad de PET que será procesada por cada hora de trabajo. Se partió del promedio estimado de recolección mensual el mismo que fue transformado a un valor diario. Luego se dividió el valor diario obtenido para el peso individual de cada botella para estimar el número de unidades que se recolectarán en un día y a partir de esto se obtuvo el valor por hora que se debe procesar. La tabla 9 muestra detalladamente los valores correspondientes al balance de la resina.

Tabla 9 Balance de Materia PET

Balance de Materia		
Datos	Valor	Unidad
Promedio Recolección Mensual	113,23	kg/mes
Recolección diaria	3,77	kg/día
Peso Botellas	0,0188	Kg
	18,8	G
# Botellas Recolectadas al día	200,76	Unidades
Procesamiento Hora	0,157	kg/h
#Botellas procesadas en una hora	8,37	Botellas /h

En la tabla se observa que la cantidad de botellas a ser tratadas por hora es de 8 botellas que equivalen a un peso de 0,157 kg/h. La capacidad mínima de procesamiento de las plantas comerciales que se ofertan en la industria es de 300 kg/h. Al comparar ambos valores la diferencia es abrumadora. Este gran contraste se debe a que en las plantas industriales se tratan toneladas de desechos que provienen de poblaciones mucho más grandes, al contrario de este estudio que se enfoca en los desechos locales producidos específicamente dentro de la Universidad.

Diagrama PI&D del Proceso de Tratamiento de PET

Una vez establecida la cantidad de materia que se va a tratar se diseñó el diagrama de flujo y PI&D del proceso. Se diseñaron dos tipos de procesos uno de escala industrial y otro a escala de laboratorio debido a la pequeña cantidad de materia a tratar. La figura 5 muestra el diagrama correspondiente al proceso de laboratorio que cuenta con mano de obra y equipos de trabajo de laboratorio para el proceso.

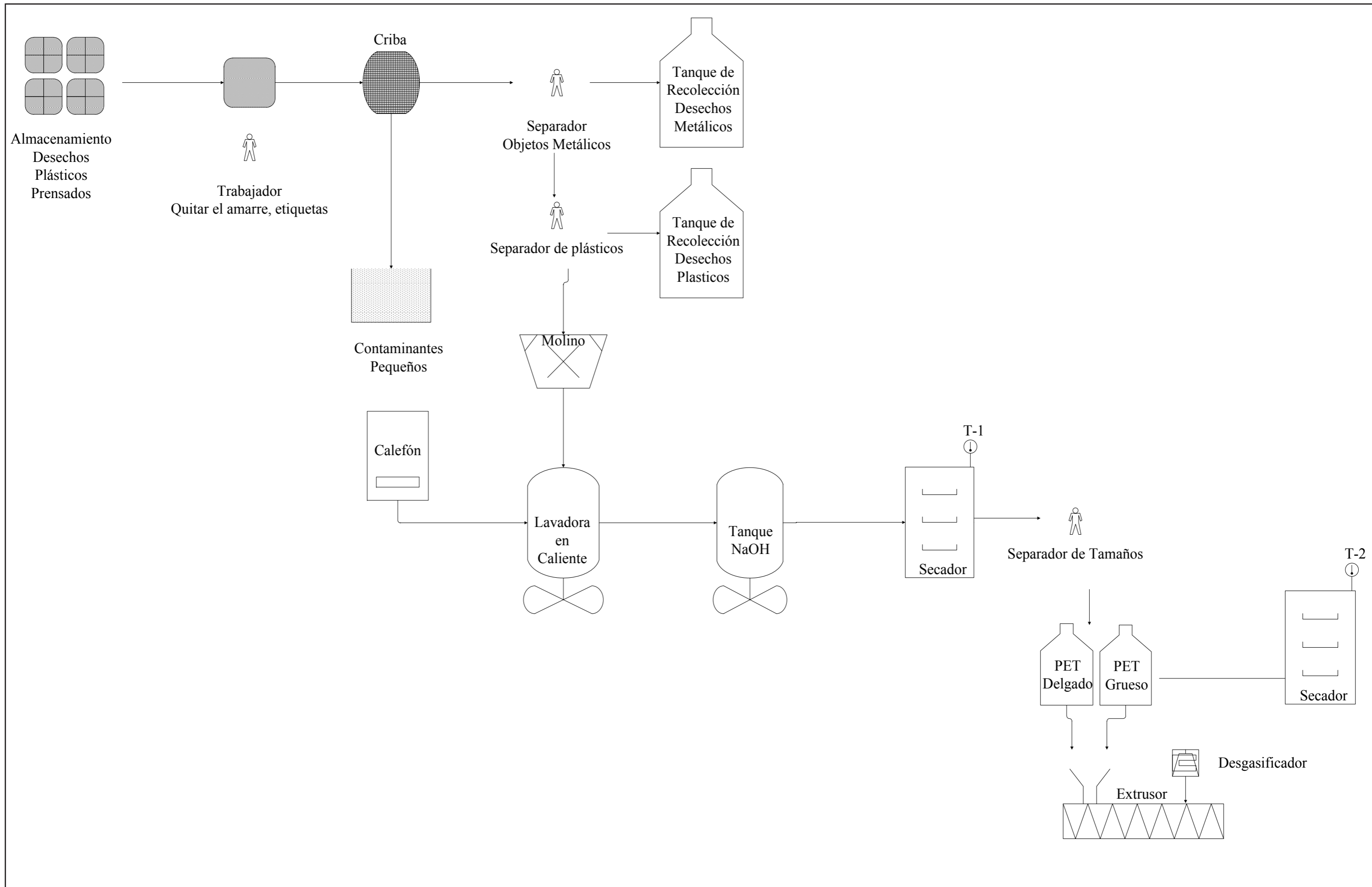


Figura 15 Diagrama de Flujo Proceso de Tratamiento Manual de PET

Como se puede ver en la imagen se comienza con el almacenamiento de los desechos plásticos. Un trabajador es quien se encarga de realizar la preparación de los desechos para el proceso separando las botellas y retirando de las mismas las etiquetas. Posteriormente estas son tamizadas por otro operario para quitar los contaminantes como tierra, arena, polvo y demás. A continuación se separa manualmente los diferentes tipos de plásticos como las tapas y el anillo de las boquillas y se deja solo el cuerpo de las botellas de PET. Estas son molidas y las escamas resultantes pasan a lavarse en agua caliente con NaOH concentrado al 10% por un tiempo aproximado de dos horas. Este paso se lleva a cabo en vasos de precipitación de 250 ml de capacidad y sobre un agitador magnético ya que este equipo permite agitar y calentar de forma simultánea. La agitación favorece al módulo de lavado ya que permite el flujo constante de las partículas sólidas en el agua lo que genera un movimiento de las mismas y permite que todas las partículas entren en contacto con la sustancia limpiadora. Adicionalmente, se emplea agua caliente (hirviendo) ya que cuando el agua alcanza su temperatura de ebullición mueren todas las bacterias que entran en contacto con ella. Inmediatamente, estas son enjuagadas para retirar el remanente de sustancia química y pasan a un proceso de secado en la mufla el cual consiste en evaporar el agua aun presente en las muestras. Una vez finalizado este procedimiento las escamas son aptas para pasar a un proceso de termoformado y ser reutilizadas. Sin embargo, para ser reutilizadas en la industria de empaques para alimentos es necesario otro paso: la descontaminación. La figura a continuación muestra el mismo proceso pero de tipo industrial, en el cual todo es automatizado y la capacidad de procesamiento es mayor.

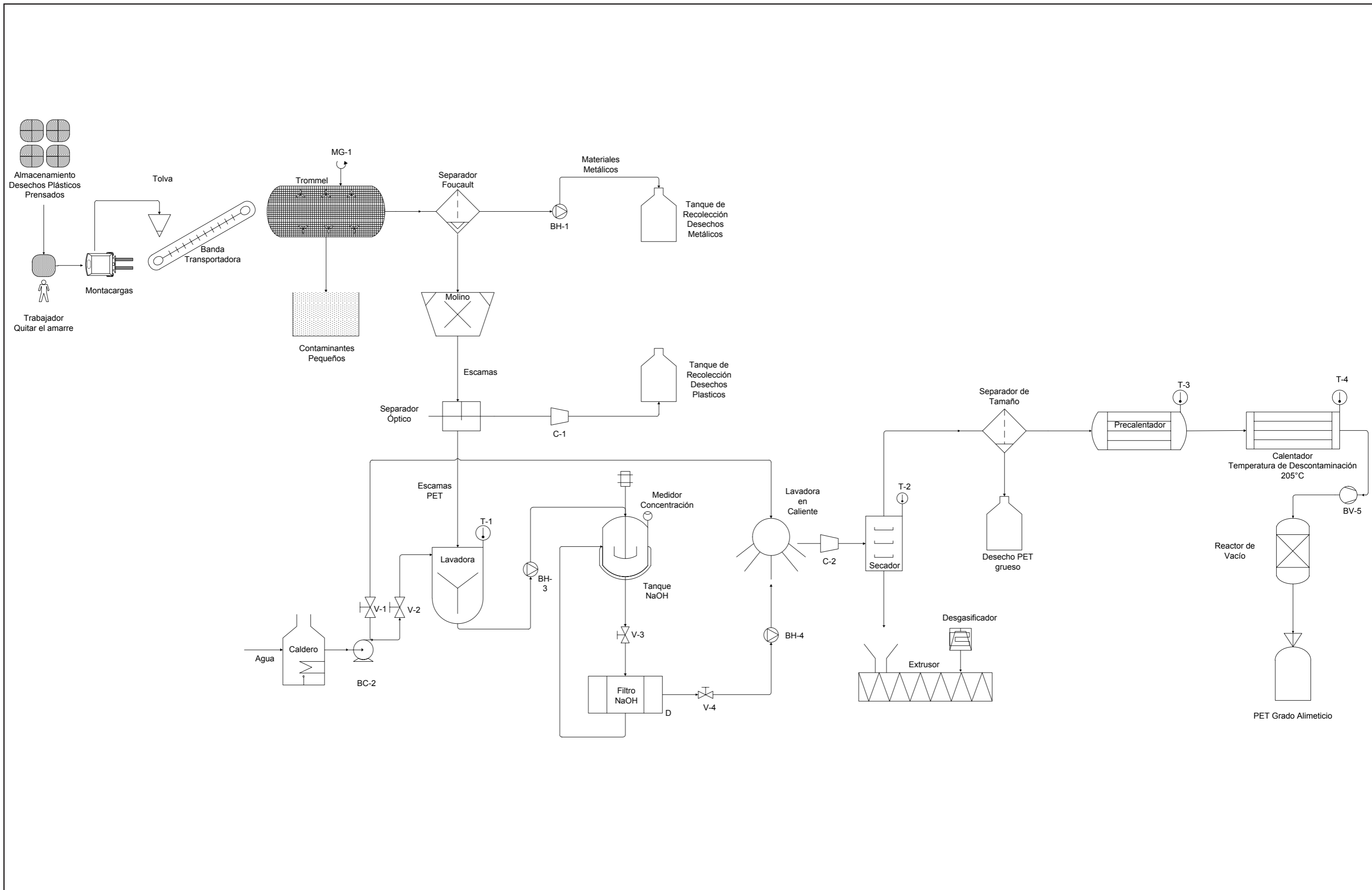


Figura 16 Diagrama PI&D industrial para el tratamiento de PET

En este diagrama se puede observar que se emplea mayor cantidad de maquinaria, el cribado se realiza en un trommel con agitación mecánica por medio de un motor. La capacidad del molino es mayor y al proceso se suman un filtro para reutilización de sosa caustica, un reactor al vacío para la sección de descontaminación y un caldero para el calentamiento del agua en el módulo de lavado. Adicionalmente, los procesos de separación tanto de metales como de plásticos que no son polietilentereftalato se realiza mediante separadores Foucault y ópticos cada uno con un funcionamiento específico para atrapar las sustancias no deseadas en el resto del proceso. Por un lado, el separador Foucault separa metales no férricos mediante la acción de un campo magnético generado por un tambor inductor que gira a altas velocidades. En este campo los metales son excluidos y se separan del resto de materiales (RegulatorCetrisa, 2016). La figura 16 ilustra el mecanismo de separación que emplea este quipo.

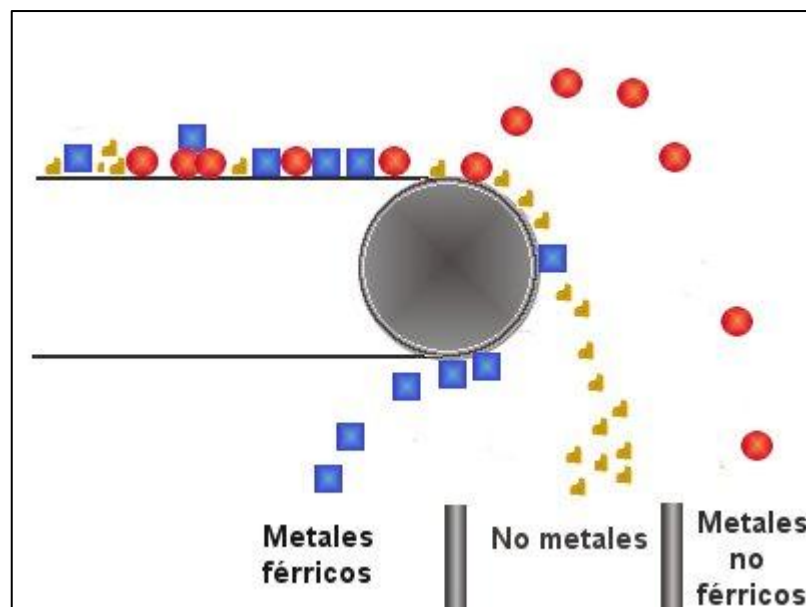


Figura 17 Mecanismo de operación de un Separador Foucault

Fuente: RegulatorCetrisa, 2016

Por otro lado, el separador óptico se encarga de clasificar plásticos por medio del color que cada uno presenta. Este equipo consta de cámaras ópticas que identifican la diferencia de los colores de la materia y envía esta señal a un computador en el cual se programa lo que se quiere separar y este a su vez activa la salida de aire para que se desplacen los materiales no deseados separándolos de la corriente de PET. La imagen 8 representa el mecanismo de funcionamiento de este separador (Allgaier Group Company).

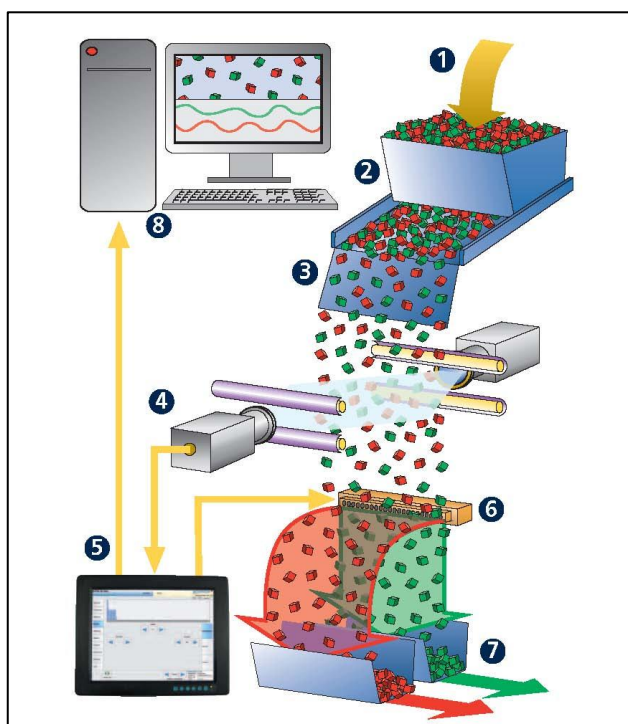


Figura 18 Funcionamiento Separador óptico

Fuente: Allgaier Group Company

Finalmente, a escala industrial el proceso cuenta con controladores tanto de temperatura como de concentración para garantizar que las condiciones del proceso sean constantes y está equipado de válvulas, motores y compresores que controlan el flujo de material de una estación a otra.

Diseño de tableros móviles

Para el diseño de las mesas que se adaptarán a las sillas de las salas de cine del Paseo San Francisco se midió manualmente las dimensiones de las butacas y los espacios físicos disponibles entre filas y se dibujó los asientos en AutoCAD. La figura a continuación muestra el bosquejo de cada vista de la silla y sus respectivas dimensiones en milímetros.

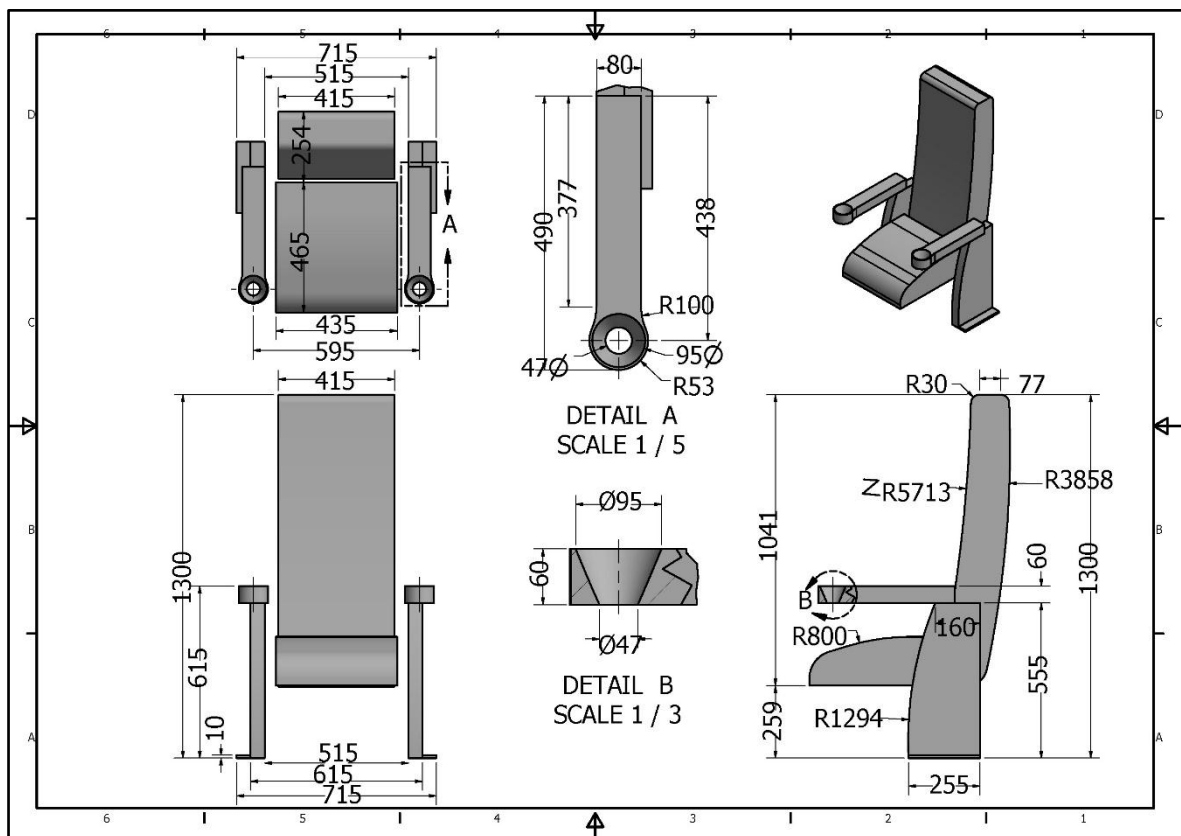


Figura 19 Dibujo Vistas de silla de Cine y sus dimensiones

Como se puede observar en la parte superior izquierda de la figura se encuentra la vista superior de la silla en la cual se puede apreciar la parte de arriba de la cabecera del espaldar, el asiento desplegado y los apoya brazos. A su derecha se encuentra un acercamiento de la vista superior del apoya brazos en el cual se detallan las dimensiones del mismo y del porta vasos que se encuentra en el extremo inferior de este. En la esquina

inferior izquierda de la figura se presenta la vista frontal del asiento en el cual se ve el espaldar, el asiento recogido y los soportes de la silla. A la derecha de esta se puede apreciar una aproximación del porta vasos en el cual se especifica su forma y sus medidas. Finalmente, en el extremo inferior derecho se muestra la vista lateral del asiento y sus dimensiones. Una vez establecidas las medidas de las sillas y el espacio disponible se diseñó la forma del tablero con las medidas justas para que quepan en cada butaca como se muestra en la figura, la escala del dibujo es 1:4.

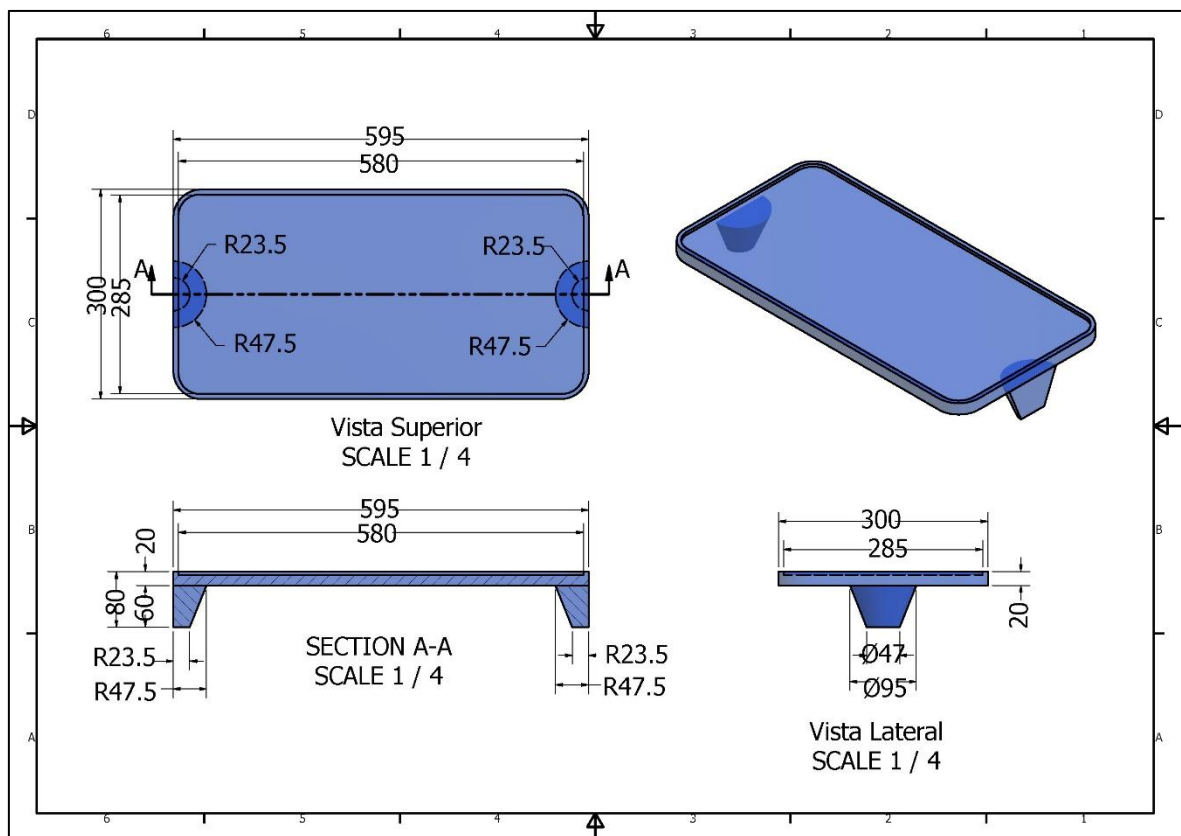


Figura 20 Diseño y dimensiones de la mesa móvil

La mesa consta de un tablero que reposa sobre dos soportes laterales a la izquierda y a la derecha. Estos soportes son de forma cónica en su eje vertical y semiesférico en el espacio horizontal ya que ocupan el radio del porta vasos con el fin de encajar dos soportes en un

solo porta vasos y unir los tableros en cadena. Las siguientes ilustraciones muestran una simulación visual de la disposición que tendrían los tableros en las sillas.

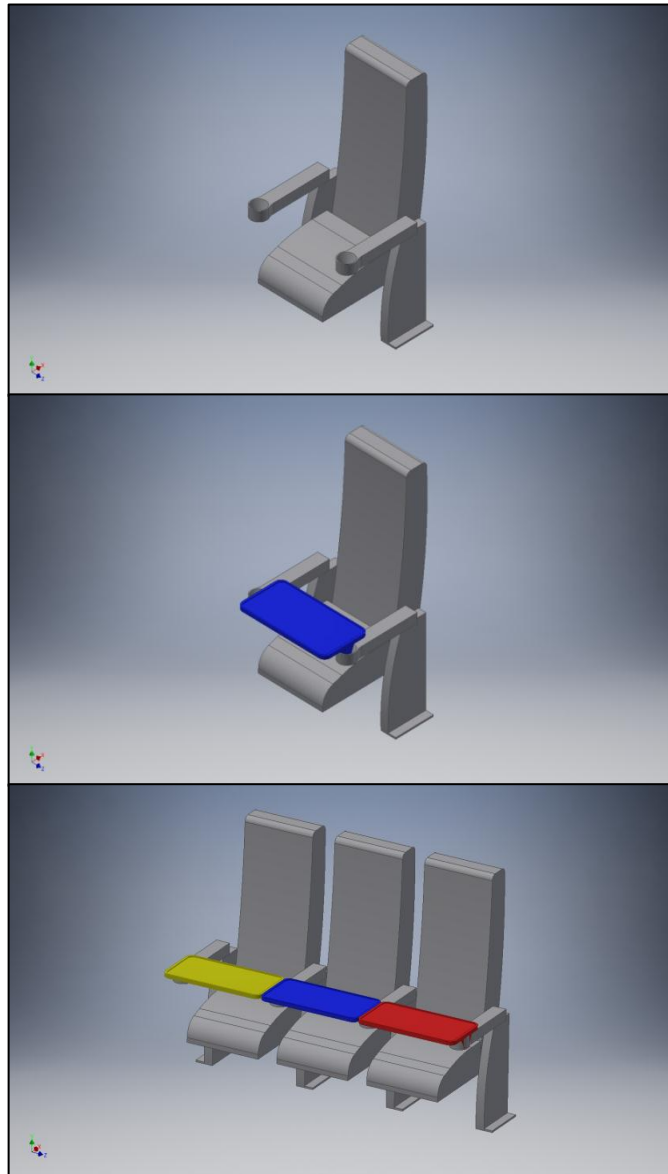


Figura 21 Simulación de la adaptación de los tableros a las sillas de las salas de cine del PSF

Análisis de Factibilidad Económica

Una vez terminada la parte técnica se realizó el análisis económico con el fin de evaluar los ingresos y egresos del proyecto y determinar si la implementación del mismo es rentable o no.

Análisis Económico Laboratorio de Tratamiento

En primer lugar, se estudió la factibilidad de la creación de un laboratorio de reciclaje para el tratamiento de polietilentereftalato. De manera general la implementación de este laboratorio requiere la construcción de este en un espacio de 16 m² que se realizará en la parte posterior de los laboratorios del departamento de Ingeniería Química a lado del Laboratorio de Química Computacional y teórica (QCT). Adicionalmente, el laboratorio debe ser equipado con agitadores magnéticos, instalaciones tanto eléctricas como de agua, y un molino de cuchillas. Adicionalmente, la creación de las mesas requiere hacer un molde para la inyección de las mismas. La tabla 10 resume las inversiones fijas correspondientes a la construcción del laboratorio y la maquinaria.

Tabla 10 Inversión Fija

ITEM	ACTIVO	INVERSION
1	Construcciones y obras civiles	\$ 3.200,00
2	Maquinaria y equipos	\$ 17.720,00 ± 2 000
3	Inversiones Auxiliares	\$ 5.600,00
	TOTAL DE INVERSION FIJA	\$ 26.520,00

La tabla previa indica que la construcción del laboratorio requiere una inversión de USD 3200 asumiendo que el metro cuadrado de construcción es de USD 500. Por otro lado, el monto necesario para la maquinaria asciende a los USD 17 720. Dentro de este concepto se toma en cuenta la compra de 2 agitadores magnéticos, la fabricación del molde de las

mesas para inyección en placas de hierro, un rubro para material de laboratorio y un molino de 5 H.P. con una capacidad de procesamiento de 30 a 80 kg/h. Finalmente, las inversiones auxiliares corresponden a las instalaciones eléctricas y al pago por 20 horas de servicio de inyección necesarias para producir las 1200 unidades. Por otro lado, los costos de producción incluyen materia prima, mano de obra directa, suministros y depreciaciones. En este caso, el rubro de materia prima y el de maquinaria es variable en función de la cantidad de PET que se desee tratar y del tiempo que se requiera para la elaboración de los tableros. Como se mostró anteriormente la cantidad de desechos generados en la Universidad San Francisco de Quito permite tener una capacidad de tratamiento de 0,157 kg/h siendo esta una cantidad demasiado pequeña el proceso de tratamiento tardaría 385 días. Adicionalmente, en este caso se prescindiría del molino y la reducción de tamaño sería manual. La tabla 11 muestra los costos de producción utilizando exclusivamente como materia prima los desechos locales.

Tabla 11 Costos de Producción

ITEM	ACTIVO	Valor total
4	Materia prima	\$ 45,60
5	Mano de obras directa	\$ 1.528,00
6	Suministros	\$ 70,00
7	Depreciación	\$ 2.441,80
	TOTAL	\$ 4.085,40

Trabajar con esta cantidad de material representa económicamente un ahorro de 2 700 dólares aproximadamente. Sin embargo, el costo de oportunidad es el tiempo de fabricación de las mesas. Otra alternativa es aumentar la producción a 30 kg/h comprando desechos plásticos a recicladores externos. Para ello, sería necesario comprar 1433 kg de desechos plásticos y el tiempo de producción se reduciría considerablemente a 48 horas de trabajo. Sin embargo, para alcanzar este nivel de producción es necesario adquirir el

molino y adicionalmente comprar desechos externos para abastecer la producción. La tabla 12 muestra la variación de los costos de producción cuando se compra materia prima a otros recicladores.

Tabla 12 Costos de Producción comprando materia prima externa

ITEM	ACTIVO	Valor total
1	Materia prima	\$ 762,10
2	Mano de obras directa	\$ 1.528,00
3	Suministros	\$ 70,00
4	Depreciación	\$ 2.441,80
	TOTAL	\$ 4.801,90

En conclusión de las tablas 10 y 11 la inversión es de USD 28 605,40 para el proceso realizado con materia prima propia. Al contrario para procesar 30 kg/h la inversión asciende a USD 31 321,9.

Análisis Económico Implementación Planta Industrial

Finalmente, se determinó el costo aproximado de instalar una planta completa de producción a escala industrial. La capacidad mínima de producción de este tipo de plantas es de 500 Kg/h, su instalación requiere un espacio físico aproximado de 900 m². Las plantas incluyen el módulo de preparación, molienda, lavado, descontaminado y ensacado de las hojuelas de PET. Las empresas que se dedican a comercializar estas plantas son Krones (Alemania), Sorema (Italia) y Pallman (Alemania) cuyas cotizaciones se encuentran a continuación.

Tabla 13 Cotizaciones Planta completa de Tratamiento de PET

Empresa	Cotización
Krones	€ 4.000.000
Sorema	€ 2.093.000
Pallman	€ 3.046.500

Como se puede observar los precios oscilan entre 2 y 4 millones de euros. Adicionalmente, se deben tomar en cuenta la compra del terreno para la instalación de ésta, gastos de importación, nacionalización de la mercadería y permisos de funcionamiento. Así como el tiempo de importación que es de aproximadamente tres meses. Los gastos en los que se debe incurrir para la implementación de ésta planta se detallan en las tablas a continuación.

Tabla 14 Inversión Fija Planta Industrial

ITEM	ACTIVO	INVERSION
1	Terrenos	\$ 771.300,00
2	Construcciones y obras civiles	\$ 450.000,00
3	Maquinaria y equipos	\$ 115.000,00
4	Inversiones auxiliares	\$ 8.500,00
6	Imprevistos	\$ 5.000,00
	TOTAL DE INVERSION FIJA	\$ 1.349.800,00

Tabla 15 Costos de Inversión Planta Industrial

ITEM	ACTIVO	Valor total
1	Materia prima	\$ 747.371,00
2	Mano de obras directa	\$ 39.070,18
3	Mano de obra indirecta	\$ 1.000,00
4	Suministros	\$ 5.640,00
5	Depreciación	\$ 13.810,00
6	Asesoría Técnica	\$ 5.000,00
7	Imprevistos	\$ 5.000,00
	TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN	\$ 816.891,18

Para alcanzar esta cantidad productiva también sería necesario comprar más materia prima lo cual elevaría el costo de este rubro. Por estos motivos, se determinó que comprar una planta de esta envergadura no es factible para la producción de 1200 unidades ya que los gastos de inversión no se recuperarían y no existiría ningún tipo de ganancia.

Conclusiones

Una vez finalizado el proyecto se puede realizar varias conclusiones a lo largo de cada etapa de la investigación. En primer lugar, el Método de la llama es ambiguo porque las características de combustión son confusas a veces y son sujetos de variación de acuerdo a la percepción y sensibilidad del investigador. Por otro lado, las pruebas clásicas también resultan imprecisas ya que en algunos casos las muestras son mezclas de polímeros y esto ocasiona que den positivo para más de una prueba generando dudas en su caracterización. Por lo tanto, se arrastra cierto nivel de error en las pruebas ya que como estas se realizan en cascada si falla alguna en una etapa se arrastra ese error hacia las pruebas subsiguientes. En las pruebas por diferencia de densidad algunas muestras se hunden en más de un solvente ya que al ser copolímeros su densidad se ve afectada y se vuelven susceptibles de comparación con un solo solvente. En el caso particular del poliestireno a pesar de haber flotado en agua y en todos los demás solventes se sometió a la prueba de Beilstein y a la de acetona ya que debido a su alta flotabilidad fue imposible caracterizar por densidad y se pudo concluir que esta propiedad se debe al porcentaje de gas que este posee en su estructura al ser un material expandido. Sin embargo, las pruebas permiten tener buenas aproximaciones de caracterización, esto quedó demostrado mediante el análisis instrumental que corroboró que la resina encontrada en mayor cantidad y caracterizada como PET era efectivamente esta. En cuanto al diseño del proceso fue necesario plantear dos opciones con diferentes conceptos de dimensión. Una pequeña a escala de laboratorio y una industrial con mayor capacidad de producción. Por un lado, el proceso pequeño tiene como ventaja la implementación en menor tiempo y a su vez sus limitaciones radican en la imprecisión del proceso, mayor necesidad de mano de obra y una producción pausada. En el caso, de la planta industrial el proceso es más controlado y automatizado. Sin embargo,

su mayor desventaja es el elevado costo de adquisición. Por todo esto, se concluye que para los fines específicos de la elaboración de las mesas móviles el proceso manual es la opción viable ya que el costo de cada mesa sería de \$24 y vendiendo las 1200 unidades se recuperaría la inversión que este tipo de proceso requiere.

ANEXOS

Análisis Económico

Detalle: Inversión fija planta industrial

Tabla 16 Terrenos

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	900	m ²	Terreno de 900 ubicado en la ciudad de Quito en la parroquia de Cumbaya	\$ 857,00	\$ 771.300,00
			Total Terrenos		\$ 771.300,00

Tabla 17 Construcciones, obras civiles y adecuaciones

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	900	m ²	Terreno de 900 m ² ubicado en la ciudad de Quito en la parroquia Cumbaya	\$ 500,00	\$ 450.000
			Total construcciones y obras civiles		\$ 450.000

Tabla 18 Maquinaria y equipos

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Planta Reciclaje PET Completa	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
2	1	Molde para Inyección	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
		Total maquinaria y equipos		\$ 115.000,00

Tabla 19 Inversiones auxiliares

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Instalaciones eléctricas	\$ 8.000,00	\$ 8.000,00
2	1	Instalación de equipos	\$ 500,00	\$ 500,00
		Total Inversiones auxiliares		\$ 8.500,00

Tabla 20 Otros activos

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Consultoría en obras civiles	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
2	1	Consultoría ambiental	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
3	1	Consultoría control de calidad	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
		Total Otros Activos		\$ 7.500,00

Detalle: Costos de Producción Planta Industrial

Tabla 21 Materia Prima

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1459542	Kg	Desechos Plásticos Externos	\$ 0,50	\$ 729.771,00
2	160	Ton	NaOH grado Analítico	\$ 110,00	\$ 17.600,00
			Total materia prima		\$ 747.371,00

Tabla 22 Mano de Obra Directa

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Jefe de Planta	\$ 1200	\$ 16000
2	10	Operarios	\$ 400	\$ 14.669,10
3	1	Guardia	\$ 320,70	\$ 4.200,58
4	1	Limpieza	\$ 320,70	\$ 4.200,5
		Total Mano de obra directa	\$ 2.241,4	\$ 39.070.18

Tabla 23 Mano de obra Indirecta

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Mantenimiento eléctrico/mecánico	\$ 500,00	\$ 1.000,00
		Total mano de obra indirecta		\$ 1.000,00

Tabla 24 Suministros

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor mensual	Valor total
1	1	Teléfono	\$ 70,00	\$ 840,00
2	1	Luz	\$ 300,00	\$ 3.600,00
3	1	Agua	\$ 100,00	\$ 1.200,00
		Total Suministros		\$ 5.640,00

Tabla 25 Depreciación

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor total
1	10	Maquinaria y Equipos (10 años)	\$ 3.810,00
2	1	Inmuebles (20 años)	\$ 10.000,00
		Total Depreciación	\$ 13.810,00

Tabla 26 Asesoría Técnica

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Asesor técnico (permisos de funcionamiento)	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
		Total Asesoría técnica		\$ 5.000,00

Detalle: Inversión fija planta manual**Tabla 27 Construcciones, obras civiles y adecuaciones**

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	16	m ²	Laboratorio de Tratamiento	\$ 500,00	\$ 3.200,00
			Total construcciones y obras civiles		\$ 3.200,00

Tabla 28 Maquinaria y equipos

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	2	Agitador Magnético	\$ 260,00	\$ 520,00
3	1	Molde para inyección		\$ 15.000,00
4	1	Material de laboratorio		\$ 200,00
5	1	Molino		\$ 2.000,00
		Total maquinaria y equipos		\$ 17.720,00

Tabla 29 Inversiones auxiliares

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	20	Hora	Golpe de Inyección	\$ 130,00	\$ 2.600,00
2	1		Instalaciones eléctricas	\$ 8.000,00	\$ 3.000,00
			Total Inversiones auxiliares		\$ 5.600,00

Detalle Costos de producción

Tabla 30 Materia prima

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1433	Kg	Desechos Plásticos Externos	\$ 0,50	\$ 716,50
2	1	Kg	NaOH grado Analítico	\$ 45,60	\$ 45,60
			Total materia prima		\$ 762,10

Tabla 31 Mano de obra directa

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor unitario	Valor total
1	1	Jefe de Laboratorio	\$ 800,00	\$ 800,00
2	2	Operarios	\$ 364,00	\$ 728,00
		Total Mano de obra directa	\$ 1.164,00	\$ 1.528,00

Tabla 32 Suministros

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor mensual
1	1	Luz	\$ 30,00
2	1	Agua	\$ 40,00
		Total Suministros	\$ 70,00

Tabla 33 Depreciación

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	Valor Anual	Valor Mensual
1	1	Maquinaria y Equipos (10 años)	\$ 2.281,80	\$ 190,15
2	1	Inmuebles (20 años)	\$ 160,00	\$ 13,33
		Total Depreciacion	\$ 2.441,80	\$ 203,48

Cotizacion planta industrial completa para tratamiento de PET



PRICE SUMMARY

A-PET bottles recycling plant 800 kg/h input / 450÷500 kg/h output

1 Conveyor belt	PRICE EURO	85.000
1 Dry Trommel	PRICE EURO	108.000
Washing line composed by:		
1 Hot pre-washing section		
1 Manual sorting (6 people)		
1 Wet grinding		
1 Grinder water filtration		
1 Washing section		
1 Separation section		
1 Thermal drying section		
1 Aerodynamic separation area		
1 Big bag standard filling station		
1 Electrical control system and plant supervisor	PRICE EURO	1.900.000
TOTAL	PRICE EURO	2.093.000

B-optional

1 Feeding conveyor belt	PRICE EURO	98.000
1 Bale breaker BB6	PRICE EURO	165.000
1 Big-bag unloading system	PRICE EURO	72.000
1 Automatic sorting	PRICE EURO	165.000
1 Flake sorting area	PRICE EURO	HOLD
1 Big bag filling unit with high density system	PRICE EURO	68.000

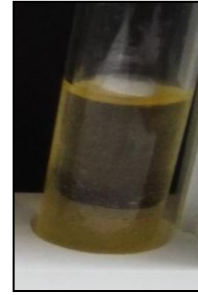
Figura 22 Pruebas por Diferencia de Densidad



Prueba de Agua



Prueba de Alcohol
Isopropílico



Prueba de Aceite

Figura 23 Fotos Prueba de Beilstein

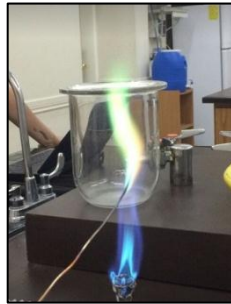


Figura 24 Fotos Prueba de Ácido Sulfúrico



Figura 25 Prueba de Acetona



Referencias bibliográficas

- Allgaier Group Company. (s.f.). *Almo Mogensen*. Recuperado el Octubre de 2016, de <http://www.almo.es/es/separacion-optica>
- Anselm Strauss, Juliet Corbin. (2002). *Bases de la Investigación Cualitativa. Técnicas y Procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Arístides Silva Otero, Mariela Mata de Grossi. (2005). *La llamada Revolución Industrial*. Caracas: Texto.
- Beltrán, M. (s.f.). *Tecnología de los Polímeros*. España.
- Billmeyer, F. (s.f.). *Ciencia de los Polímeros*. España: Reverté.
- Buck Scientific. (s.f.). *Model BLC-10/10C/11C Series Isocratic HPLC System. Operator's Manual*. Buck Scientific.
- Carraher, C. (2003). *Polymer Chemistry*. New York: Marcel Dekker.
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Cruz, D. (12 de Julio de 2016). Actualización Número de Estudiantes USFQ. (M. F. Suasnavas, Entrevistador) Quito.
- García, S. (2008). Referencias Históricas y Evolución de los Plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 1-10.
- Glaser, B. y Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine Publishing Company.
- Intercia. (2016). *Reciclando por un Ecuador más Limpio*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016, de http://www.reipa.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=83%3Aalgo-de-historia-&Itemid=1&lang=es
- Izabela Steinborn, Gabriel Rokicki. (2013). Solid-state polycondensation (SSP) as a method to obtain. *Polimery*, 1-82.
- Jenna R. Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara Lavender Law. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 768-771.
- Krantz, D. (1998). *Identification of Polymers*. Tucson, AZ.

- KronesMetaPure. (s.f.). *The bottle-to-bottle PET recycling plant*. Recuperado el 17 de Octubre de 2016, de <http://www.krones.com/en/products/filling-technology/bottle-to-bottle-pet-recycling-plant.php>
- Linseis Thermal Analysis. (2012). *Linseis Thermal Analysis*. Recuperado el 12 de noviembre de 2016, de <http://www.linseis.com/es/nuestros-productos/termogravimetria-simultanea/>
- PerkinElmer. (2015). Estados Unidos.
- Procesos Universitarios y Normativa Académica. (01 de Agosto de 2016). *Universidad San Francisco de Quito*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de Manual de Estudiante:
http://www.usfq.edu.ec/sobre_la_usfq/informacion_institucional/politicasinstitucionales/Documents/manual_estudiante.pdf
- RegulatorCetrisa. (2016). *Separación de metales no férricos por corrientes de Foucault*. Recuperado el 17 de Octubre de 2016, de RegulatorCetrisa: <http://regulator-cetrisa.com/equipos-de-separacion/separadores-de-metales-no-ferricos/>
- Sociedad de la Industria de Plásticos. (1998). Sistema de Codificación SPI.
- Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. England: Wiley.