



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS DE INVESTIGACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

TEMA:

RECICLAJE DE PLASTICOS

AUTORES:

Víctor Eduardo Vélez Bone

Billy Alexander Mosquera González

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Rodríguez Webster

2011 – 2012

GUAYAQUIL – ECUADOR

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE APROBACIÓN

TITULO DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN

RECICLAJE DE PLASTICOS

INFORME TÉCNICO PRESENTADO POR:

Víctor Eduardo Vélez Bone
Billy Alexander Mosquera González

APROBADO EN SU ESTILO Y CONTENIDO POR:

Ing. Carlos Decker Coello
DIRECTOR DEL CURSO

Ing. Shirley Sánchez Medina
COORDINADORA ACADÉMICA

Ing. José Rodríguez Webster
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A todas esas personas que siempre estuvieron ahí dándome aliento de inspiración, a mi familia, a mis profesores por ese arduo trabajo que ellos desempeñan por brindarnos cada día una buena educación.

Billy Alexander Mosquera González

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por escuchar mis peticiones y ayudarme en tiempos difíciles, a mis padres por ser los pilares fundamentales e influyentes en mi vida, a mi familia por su apoyo constante, a mi novia (María Gabriela Páez Cedeño) quien fue la persona que con su aliento, me dio la fuerza para volver a retomar mis estudios y poder así completar mi carrera. Gracias totales.

Víctor Eduardo Vélez Bone

DEDICATORIA

A mi madre Gladys González Medina por ser el motor de inspiración y por brindarme siempre apoyo económico en todos estos años de estudios. A mi hermana Sorell Mosquera González por ser una persona ejemplo a seguir por todos lo que ha logrado a base de esfuerzo y sacrificio.

Billy Alexander Mosquera González

DEDICATORIA

A mi padre, Víctor Vélez Intriago, que Dios lo tenga en su gloria, que fue la persona que durante toda mi vida estudiantil y universitaria estuvo presente moral y económicamente, sacrificando mucho de él, para ayudarme a tener una formación académica y ser una persona de bien en la vida.

Víctor Eduardo Vélez Bone

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido completo presentado en este informe técnico, corresponde exclusivamente a los autores:

Víctor Eduardo Vélez Bone.

Billy Alexander Mosquera González.

RESUMEN

Esta investigación tiene como principal objetivo fomentar el reciclaje de materiales plásticos, provenientes de los residuos y desechos post consumos y post industriales, específicamente las poliolefinas, como son el polietileno de alta y baja densidad, y así como los reticulados amorfos como el PVC, y de esta manera aportar a disminuir el impacto ambiental que estos generan.

En el capítulo I, nos enfocamos en describir como se encuentra la situación actual en el país, específicamente en las ciudades grandes como Guayaquil con respecto a la cantidad de desechos plásticos de polietileno y PVC que se generan, agregando el diagnóstico del problema.

EL capítulo II, nos da los lineamientos, características y usos de las materias primas plásticas, tanto como la disponibilidad de ellas en nuestro medio.

En los capítulos III y IV, se encuentra el corazón de esta investigación, pues nos enfocamos en los procesos de reciclaje que se pueden tomar para la eliminación de residuos de polietilenos y PVC, optar por uno de ellos y diseñarlo para la aplicación correspondiente.

El capítulo V comprende un análisis económico superficial de la investigación, siendo el caso de diseñarse una planta de reciclaje de estos materiales.

Los resultados obtenidos en esta investigación, nos indican que el proceso de reciclaje de polietilenos y PVC, es completamente viable y factible pues la materia prima que se necesita es adquirida a un muy bajo precio, y a través de un buen proceso de lavado y transformación en pellets puede venderse entre 5 a 6 veces el valor en que fue adquirido.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	IV
DECLARACION EXPRESA.....	VI
RESUMEN.....	VII
INDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XV
INDICE DE FIGURAS.....	XVIII
INTRODUCCION.....	1

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. GENERAL.....	6
1.4.2. ESPECIFICOS.....	5

CAPITULO II: MATERIA PRIMA.

2.1. FUNDAMENTO DE LOS POLIETILENOS.....	8
2.2. TIPOS DE POLIETILENOS.....	8
2.3. DESCRIPCION GENERAL DE LOS POLIETILENOS.....	9
2.3.1. ESTRUCTURA FÍSICA QUÍMICA DE LOS POLIETILENOS.....	9
2.3.2. PROPIEDADES DE LOS POLIETILENOS.....	13
2.4. APLICACIONES DE LOS POLIETILENOS.....	17
2.4.1. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.....	17
2.4.2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.....	18
2.5. DISPONIBILIDAD DEL POLIETILENO.....	19
2.6. FUNDAMENTOS DEL PVC.....	20
2.6.1. POLIMERIZACIÓN.....	21
2.6.2. CARACTERISTICAS DEL PVC.....	22
2.6.3. CLASIFICACIÓN COMO COMPUESTO.....	23
2.6.3.1. CARACTERISITICAS DEL PVC RIGIDO.....	24
2.6.3.2. CARACTERISTICAS DEL PVC FLEXIBLE.....	24

CAPITULO III: EL RECICLAJE DE PLASTICOS

3.1. INTRODUCCION.....	25
------------------------	----

3.2. TIPOS DE RECICLAJE.....	27
3.2.1. RECICLAJE PRIMARIO.....	27
3.2.2. RECICLAJE SECUNDARIO.....	28
3.2.3. RECICLAJE TERCARIO.....	29
3.2.3.1. HIDRÓLISIS.....	30
3.2.3.2. ALCOHÓLISIS.....	30
3.2.3.3. HIDROGENACIÓN.....	31
3.2.3.4. GASIFICACIÓN.....	32
3.2.3.5. PIRÓLISIS.....	33
3.2.4. RECICLAJE CUATERNARIO.....	34
3.2.5. OTROS METODOS DE RECICLAJE.....	34

CAPITULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1. TECNOLOGÍA APLICADA.....	35
4.1.1. INTRODUCCIÓN.....	35
4.1.2. RECICLAJE MECANICO.....	36
4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	37
4.2.1. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (ACOPIO).....	37
4.2.2. CLASIFICACIÓN / SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	37
4.2.3. MOLIENDA.....	38

4.2.4. LAVADO POR FRICCION.....	39
4.2.5. ENJUAGE Y SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN.....	40
4.2.6. CENTRIFUGADO.....	41
4.2.7. SECADO.....	42
4.2.8. ALMACENAMIENTO PREVIO.....	43
4.2.9. EXTRUSION - PELLETIZADO.....	43
4.2.10. ALMACENAMIENTO FINAL.....	44
4.3. VARIABLES DEL PROCESO.....	45
4.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	45
4.5. BALANCE DE MATERIA POR OPERACIONES UNITARIAS.....	47
4.5.1. ACOPIO DEL MATERIAL.....	47
4.5.2. CLASIFICACIÓN / SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	48
4.5.3. MOLIENDA.....	49
4.5.4. LAVADO POR FRICCIÓN.....	51
4.5.5. ENJUAGUE Y SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN.....	53
4.5.6. CENTRIFUGADO.....	54
4.5.7. SECADO.....	57
4.5.8. ALMACENAMIENTO PREVIO.....	61
4.5.9. EXTRUSIÓN - PELLETIZADO.....	62

4.5.10. ALMACENAMIENTO FINAL.....	65
-----------------------------------	----

CAPITULO V: ANALISIS FINANCIERO.

5.1. INTRODUCCION.....	67
5.2. INVERSIÓN INICIAL.....	68
5.3. INGRESOS.....	69
5.4. COSTOS.....	70
5.5. FLUJO DE CAJA.....	73

CAPITULO VI: ANALISIS DEL PROYECTO.

6.1. CONCLUSIONES.....	78
6.2. RECOMENDACIONES.....	80
ANEXO I.....	81
ANEXO II.....	82
ANEXO III.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	84

ABREVIATURAS.

PVC: Cloruro de polivinilo.

PE: Polietileno.

PEBD: Polietileno de baja densidad.

PEAD: Polietileno de baja densidad.

PEBDL: Polietileno lineal de baja densidad.

PEMD: Polietileno de media densidad.

PP: Polipropileno.

PET: Tereftalato de polietileno.

PS: Poliestireno.

PC: Policarbonato.

PUR: Poliuretanos.

INDICE DE TABLAS.

TABLA 1.1. CANTIDAD DE RESIDUOS PLASTICOS QUE GENERAN LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL PAIS.....	4
TABLA 2.1. RAMIFICACIÓN DE CADENA Y LA CRISTALINIDAD DEL POLIETILENO.....	12
TABLA 2.2. PROCESOS DE TRANSFORMACION DE ACUERDO A LOS TIPOS DE POLIETILENOS.....	14
TABLA 2.3. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS POLIETILENOS.....	15
TABLA 4.1. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CLASIFICACION.....	49
TABLA 4.2. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIENDA....	50
TABLA 4.3. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE LAVADO POR FRICCION.....	52
TABLA 4.4. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ENJUAGE Y SEPARACION POR FLOTACION.....	54
TABLA 4.5. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CENTRIFUGADO DE POLIETILENO.....	56
TABLA 4.6. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CENTRIFUGADO DEL PVC.....	57
TABLA 4.7. CALCULO DE AIRE TOMADO EN EL AMBIENTE EN EL SECADOR 1.....	58
TABLA 4.8. CALCULO DE AIRE TOMADO EN EL AMBIENTE EN EL SECADOR 2.....	59
TABLA 4.9. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO DE POLIETILENO.....	60

TABLA 4.10. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO DEL PVC.....	60
TABLA 4.11. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ALMACENAJE POLIETILENOS SECOS.....	62
TABLA 4.12. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ALMACENAJE PVC SECO.....	62
TABLA 4.13. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRUSION PELETIZADO DE POLIETILENO.....	65
TABLA 4.14. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRUSION PELETIZADO DEL PVC.....	65
TABLA 4.15. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ALMACENAJE FINAL (PELLETS PEMD)	66
TABLA 4.16. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ALMACENAJE FINAL (PELLETS DE PVC)	66
TABLA 5.1. INVERSION INICIAL.....	69
TABLA 5.2. INGRESOS.....	70
TABLA 5.3. COSTOS.....	71
TABLA 5.4. GASTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS.....	71
TABLA 5.5. FINANCIAMIENTO.....	72
TABLA 5.6. DEPRECIACIÓN.....	72
TABLA 5.7. BALANCE GENERAL PROYECTADO.....	73
TABLA 5.8. BALANCE GENERAL PROYECTADO.....	74
TABLA 5.9. PUNTO DE EQUILIBRIO.....	74

TABLA 5.10. FLUJO FINANCIERO.....	75
TABLA 5.11. RAZONES.....	76
TABLA 5.12. VAN Y TIR.....	77

INDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1. Cadena del polietileno de alta densidad.....	10
Figura 2.2. Estructura del HDPE y LDPE.....	10
Figura 2.3. Símbolo del polietileno de alta densidad.....	19
Figura 2.4. Símbolo del polietileno de baja densidad.....	19
Figura. 2.5. Estructura molecular del PVC.....	21
Figura.3.1. Métodos para el reciclaje químico.....	29
Figura 4.1. Fraccionador (Molino de cuchillas).....	38
Figura 4.2. Máquina de lavado por fricción.....	39
Figura 4.3. Esquema de enjuague y separación por flotación.....	40
Figura 4.4. Esquema de centrifugado con separación.....	41
Figura 4.5. Equipo de secado con aire a temperatura ambiente.....	42
Figura 4.6. Tolva de almacenamiento.....	43
Figura 4.7. Extrusora y pelletizadora.....	44
Figura 4.8. Diagrama de flujo del proceso de obtención de PEMD y PVC a partir de material reciclado.....	46
Figura 4.9. Diagrama de flujo separación / clasificación.....	48
Figura 4.10. Diagrama de flujo de la molienda.....	49
Figura 4.11. Diagrama de flujo del lavado por fricción.....	51
Figura 4.12. Diagrama de flujo de enjuague y separación.....	53

Figura 4.13. Diagrama de flujo del centrifugado.....	55
Figura 4.14. Diagrama de flujo de los secadores.....	57
Figura 4.15. Diagrama de flujo de almacenamientos previos.....	61
Figura 4.16. Diagrama de flujo de la extrusión-pelletización.....	63

INTRODUCCIÓN.

El sector plástico es uno de los sectores más dinámicos de la economía del Ecuador, no sólo como transformadores de resinas en productos terminados sino como parte vital de otras cadenas productivas, las cuales son una de las principales causales de la contaminación ambiental.

El plástico es difícilmente biodegradable y por esta razón se convierte en un producto altamente contaminante. El reciclaje de plásticos es una opción muy útil para reducir los desperdicios sólidos, sobre todo el polietileno y el PVC que son comúnmente, tanto para la protección del ambiente y la conservación de los recursos naturales, sin embargo los productos reciclados deben ser capaces de cumplir con las características del desempeño requeridas para su aplicación.

Con esta premisa, nos hemos propuesto desarrollar este trabajo de investigación que tiene como finalidad, implementar las metodologías de reciclaje de los plásticos, como lo es el reciclaje mecánico; además se pretende sentar una base en el país, para desarrollar y crear empresas dedicadas a la reutilización de plástico en la fabricación de productos comúnmente utilizados de manera cotidiana en la vida de las personas.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. ANTECEDENTES.

El sector plástico es uno de los sectores más dinámicos de la economía del Ecuador, no sólo como transformadores de resinas en productos terminados sino como parte vital de otras cadenas productivas.

En Ecuador, el sector Industrial de productos plásticos está conformado por más de 400 empresas facturando más de \$550 millones al año, generando aproximadamente 30.000 empleos directos e indirectos, entre otras cosas, por su dispersa y amplia cadena de comercialización. Sin embargo somos importadores absolutos de materias primas de origen petroquímico pese a ser el Ecuador un país petrolero, es por ello que la investigación para lograr la reutilización de plásticos debería ser una prioridad en nuestro medio, no solo por el aspecto económico si también por las mejoras ambientales que representa la reutilización de plásticos.

Anualmente, en el mundo se producen cerca de 60000 millones de toneladas de plástico, en especial envases, fundas y envolturas, por eso, la generación de estos desechos se ha vuelto imparable.

Los plásticos utilizados habitualmente en la industria, e incluso en la vida cotidiana, son productos con una muy limitada capacidad de autodestrucción, en consecuencia, quedan durante muchos años como residuos, provocando así una gran contaminación. Por otra parte, los plásticos se obtienen a partir de derivados del petróleo, un producto cada vez más caro y escaso. Con estos antecedentes es importante y necesario la recuperación y reutilización de los residuos plásticos.

Otros países como Estados Unidos, Brasil, Perú, Colombia y países europeos extruyen y mezclas de ellos desde hace 25 años, obteniendo productos que pueden ser utilizados en la fabricación de nuevos artículos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El principal problema es el impacto ambiental ocurrente por la generación de desechos, siendo las ciudades más grandes como Quito, Guayaquil y Cuenca, los mayores generadores de desperdicios sólidos que no se degradan con el tiempo.

Se estima que 2500 toneladas de basura que se generan a diario en Guayaquil, el 15% es plástico, el consumo desenfrenado y la falta de un procesamiento final adecuado generan graves problemas para el planeta. Se calcula que solo entre el 3% y 5% de los productos plásticos se recicla. El resto acaba a la intemperie, en los botaderos o sepultado en los rellenos.

A continuación mostramos la cantidad de residuos que se generan en las ciudades más grandes del país.

Tabla 1.1. Cantidad de residuos plásticos que generan las principales ciudades del país.

			GUAYAQUIL	QUITO	CUENCA
			(Ton/día)	(Ton/día)	(Ton/día)
DESECHOS			375,00	319,00	72,00
COMPOSICIÓN	PEBD	20%	75,00	63,80	14,40
	PEAD	20%	75,00	63,80	14,40
	PVC	10%	37,50	31,90	7,20
	PET	35%	131,25	111,65	25,20
	PP	8%	30,00	25,52	5,76
	PS	4%	15,00	12,76	2,88
	OTROS	3%	11,25	9,57	2,16
TOTAL		100%	375,00	319,00	72,00

Fuente: Estudio técnico de las Asociación de municipalidades del Ecuador (AME) 2009.

Se estima que el consumo de los plásticos en la sociedad moderna crece en un 4% anualmente, este gran aumento en el consumo de los plásticos hace que sea uno de los productos de consumo más importante en nuestra vida diaria y debido a esto, se provoca un aumento en la salida de divisas por la compra de materia prima (resinas plásticas) a los países productores, ya que el Ecuador, en la actualidad no tiene petroquímica que produzca estos compuestos.

En función de lo mencionado anteriormente, este estudio se centrará en la propuesta de tener una planta recicladora de plásticos (exclusivamente PEBD, PEAD y PVC) pos consumo e post industrial, con una capacidad de procesamiento de 10 ton/día de residuos plásticos y de producción de pellets de plásticos de 9,3 ton/día. (6,5 ton/día de PEMD como producto principal y 2,79 ton/día de PVC)

Otro problema que existe es la falta de cultura y educación ecológica trayendo consigo la poca conciencia sobre el cuidado ambiental en el Ecuador, a raíz de esto los costos se elevan al momento de iniciar esta actividad, ya que se debe tomar en cuenta el proceso de recolección para posteriormente iniciar el reciclaje.

1.3. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.

La importancia del reciclaje de plásticos de desecho, radica en que hoy en día estos están siendo depositados en rellenos sanitarios, debido al gran volumen que ocupan y el extenso periodo de degradación de estos, se disminuye el tiempo de vida de los rellenos, provocando así, grandes problemas para los municipios locales.

En la provincia del Guayas, actualmente existen empresas dedicadas a la actividad del reciclaje, como las empresas del grupo REIPA, específicamente en el área de plásticos como es la empresa PROCEPLAST del Grupo Bravo,

a pesar de que esta empresa es la mayor recicladora a nivel nacional, todavía existe muchos residuos plásticos que no son reciclados debido al incremento de la producción de la industria plástica que tiene como mayor generador de estos residuos a la ciudad de Guayaquil y la provincia del Guayas.

Con este antecedente, es factible realizar procesos de reciclaje de los residuos plásticos en la ciudad que Guayaquil, que reduzcan significativamente el impacto ambiental causado por la generación de estos desechos.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. GENERAL.

- Diseñar un proceso de reciclaje de plásticos, especialmente enfocado en los desechos de polietileno de alta, baja densidad y cloruro de polivinilo (PVC).

1.4.2. ESPECIFICOS.

- Recabar información acerca del reciclaje de desechos plásticos en sus distintos enfoques y etapas.

- Realizar un marco teórico sobre las distintas formas de realizar un reciclaje de materiales plásticos.
- Establecer una evaluación económica del proceso de reciclaje de materiales plásticos termoestables como lo son el polietileno y el PVC.

CAPITULO II

2. MATERIA PRIMA.

2.1. FUNDAMENTO DE LOS POLIETILENOS.

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido y es frecuentemente fabricado en finas láminas. Por la Polimerización del etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental $(-CH_2-CH_2-)_n$, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado.

Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después se ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos industriales especialmente para película y para envases.

2.2. TIPOS DE POLIETILENOS

En general hay tres tipos de polietileno:

- De baja densidad (LDPE).
- De alta densidad (HDPE).
- De media densidad (MDPE) formulado.

El de baja densidad tiene una estructura de cadena enramada, mientras que el polietileno de alta densidad tiene esencialmente una estructura de cadena recta [1].

2.3. DESCRIPCION GENERAL DE LOS POLIETILENOS

Las propiedades de las resinas de polietileno se deben principalmente, sino exclusivamente a tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso Molecular promedio y distribución del peso molecular. Estas propiedades básicas a su vez dependen del tamaño, estructura y uniformidad de la molécula de polietileno. Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para miles de artículos manufacturados son, entre otras: poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes [2].

2.3.1. ESTRUCTURA FÍSICA QUÍMICA DE LOS POLIETILENOS.

Una molécula de polietileno no es nada más que una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono. La figura representa fácilmente la cadena de átomos de carbono, de miles de átomos de longitud.

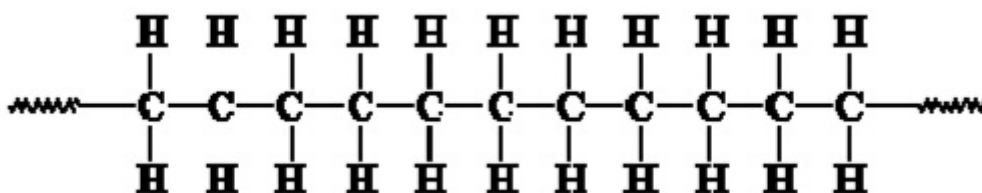
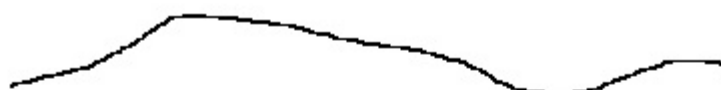


Figura 2.1. Cadena del polietileno de alta densidad.

En ocasiones es un poco más complicado, a veces algunos de los carbonos en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, o LDPE. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal de alta densidad, o HDPE el polietileno lineal es más fuerte que el polietileno ramificado, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer.



A molecule of linear polyethylene, or HDPE



A molecule of branched polyethylene, or LDPE

Figura 2.2. Estructura del HDPE y LDPE.

El polietileno lineal se produce normalmente con pesos moleculares en el rango de 200.000 a 500.000, pero puede ser mayor aún. El polietileno con pesos moleculares de tres a seis millones se denomina polietileno de peso molecular ultra-alto, o UHMWPE. El UHMWPE se puede utilizar para hacer fibras que son tan fuertes que sustituyeron al Kevlar para su uso en chalecos a prueba de balas [3].

La condición ramificada de la cadena del polímero influye profundamente en las propiedades físicas tanto del polietileno sólido como del polietileno fundido. En consecuencia, las propiedades físicas que se indican más adelante se refieren no sólo a un intervalo de pesos moleculares, sino también a cierto tipo de polímeros de cadena ramificada.

Variando las condiciones en que se realiza la polimerización, es posible variar el grado de ramificación entre límites amplios y producir gran número de tipos de polímeros.

Tabla 2.1. Ramificación de la cadena y cristalinidad del polietileno

Ramificación (CH ₃ por 100 CH ₂)	Densidad a 20 ° C	Cristalinidad (%)
0 (polimetileno)	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

Fuente: Tesis de grado de la ESPOL, Evaluación de propiedades mecánicas y reológicas de los polietilenos. (Año 2009)

En la tabla se observa que al aumentar la ramificación de la cadena disminuye la densidad del polietileno y su grado de cristalinidad. Varias propiedades son directamente afectadas por la cristalinidad y en consecuencia por el grado de ramificación. Son ejemplo de ello la dureza, el punto de reblandecimiento. Otras propiedades, resistencia a la tracción, la flexibilidad a temperaturas bajas y la resistencia al choque, son principalmente funciones del peso molecular medio.

Debido a que el grado de cristalinidad del PEAD es variable, se lo puede considerar como un polímero amorfo con una cantidad variable de carga cristalina. La frecuencia con que aparecen las ramificaciones, se denominan

grado de ramificación y se indica con el número de ramificaciones por cada 1000 átomos de carbono de la cadena principal.

La diferencia mencionada en la cadena de la macromolécula de polietileno, se refleja en las características físicas de cada tipo de polietileno, por otra parte, debido a la estructura complicada el polietileno de macromoléculas muy ramificada, tiene una cristalinidad menor que el polietileno de cadenas lineales a mayores distancias entre las macromoléculas por lo tanto resulta una densidad menor y también menor resistencia mecánica.

2.3.2. PROPIEDADES DE LOS POLIETILENOS.

Cada uno de los polietilenos presenta diferentes características que limitan algunas veces su procesamiento, en determinados métodos de transformación, sin embargo por los procesos de inyección y extrusión, pueden transformarse la mayoría de los polietilenos.

Tabla 2.2. Procesos de transformación de acuerdo a los tipos de polietilenos

PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	TIPO DE POLIETILENO
EXTRUSIÓN	PEBD
Tuberías, perfiles, laminas, recubrimientos de cables, películas	PEBDL PEAD
INYECCIÓN	PEBD PEBDL PEAD
SOPLADO	PEBD
Inyección soplado	PEAD
Extrusión soplado	PEBDL
TERMOFORMADO	PEBD PEBDL PEAD
ROTOMOLDEO	PEAD PEMD

Fuente: Curso de materias primas plásticas (ESPOL 2009)

Los procesos donde se encuentran la mayoría de los productos fabricados de polietileno es los de extrusión, inyección y soplado. Entre estos tenemos los diversos productos como por ejemplo, las tuberías para agua potable a presión (extrusión), accesorios de termo fusión (inyección), botellas, envases (soplado inyección) además de las bolsas plásticas de los supermercados (extrusión soplado). En la tabla 2.3., se muestran algunas de las propiedades típicas del polietileno sólido [4].

Tabla 2.3. Propiedades físicas y mecánicas de los polietilenos.

PROPIEDADES	UNIDADES	PEBD	PEAD
Densidad	g/cm ³	0.92 - 0.93	0.94 - 0.96
Cristalinidad	%	60 - 65	80 - 90
Resistencia a la tensión	kg/cm ²	100 - 170	210 - 380
Elongación	%	500 - 725	100 - 200
Modulo elástico	1 x 10 ³ kg/cm ²	1.2 - 2.6	5.6 - 10
Resistencia a la flexión	1 x 10 ³ kg/cm ²	-----	1.0 - 1-2
Dureza	shore	40 - 45	60 - 70
Conductividad térmica	1 x 10 ² Cal/s.cm ²	8	11 - 12.5
Temp. de ablandamiento (vicat)	°C	80 - 90	120 - 130
Temp. de fusión	°C	110 - 115	130 - 140
Temperaturas de procesamiento			
Moldeo por inyección	°C	190 - 240	220 - 280
Extrusión	°C	150 - 170	170 - 220
Contracción de moldeo	%	1 - 2	1 - 3

Fuente: Curso de materias primas plásticas (ESPOL 2009)

Estas propiedades se refieren a un producto con peso molecular aproximado de 25.000. La elección del peso molecular necesario para diferentes usos significa, en general, una transacción entre las propiedades mecánicas mejoradas del material de alto peso molecular y la mayor facilidad para fabricar artículos con el material de peso molecular más bajo.

La tensión en el punto de ruptura depende del peso molecular; pero para un material con peso molecular de 25.000 puede ser el doble de la tensión en el punto cedente. La forma de la curva general de esfuerzo-deformación

depende de la temperatura y de la rapidez de aplicación del esfuerzo. A medida que aumenta la temperatura, baja el punto cedente; mientras que un aumento en la rapidez con que se aplica la tracción da como resultado un aumento del punto cedente y de la resistencia final, y también en la perfección de la orientación del ejemplar estirado en frío. A medida que se reduce la temperatura por debajo de las temperaturas ordinarias, se reduce el alargamiento en la ruptura y se alcanza una temperatura en la cual no se produce estirado en frío, rompiéndose el ejemplar bruscamente con sólo un alargamiento del 10%.

Esta temperatura es aproximadamente aquella en que un ejemplar no puede ser doblado más que en un grado muy limitado sin que se rompa como si fuera un material quebradizo. Una propiedad extraordinaria del polietileno de peso molecular inferior a 20.000 es su sensibilidad al agrietamiento cuando se somete a tensiones en contacto con ciertos líquidos, en especial orgánicos polares.

Todas las propiedades mecánicas del polietileno son sensibles a la historia térmica del ejemplar. Si el material se enfría rápidamente desde el estado fundido, el sólido tiene densidad y cristalinidad menores; por consiguiente es más blando y más flexible y, por lo menos al principio, es más resistente al agrietamiento a bajas temperaturas y al agrietamiento en presencia de líquidos orgánicos. Por otro lado, es probable que contenga más tensiones

internas, el polietileno sólido sufre deslizamiento en frío, como sucede a muchos otros polímeros; pero en virtud de su naturaleza cristalina, este corrimiento es muy pequeño a temperaturas ordinarias, salvo bajo cargas que se aproximan al punto de cedencia. Sin embargo, a temperaturas más altas, el corrimiento en frío es apreciable.

Cuando se somete una muestra a tracción, esfuerzo cortante o compresión, al principio se deforma rápidamente; pero la rapidez con que varían las dimensiones disminuye a medida que pasa el tiempo; por lo menos durante un cierto tiempo, la deformación es aproximadamente una función lineal del logaritmo del tiempo de aplicación. A temperaturas más altas y con tensiones mayores se produce una deformación permanente de la muestra.

2.4. APLICACIONES DE LOS POLIETILENOS.

2.4.1. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

Algunas de sus aplicaciones más importantes son:

- Bolsas plásticas.
- Envases de alimentos, detergentes, y otros productos químicos.
- Artículos para el hogar.
- Juguetes.
- Acetábulos de prótesis femorales de caderas.

- Dispositivos protectores (cascos, rodilleras, coderas...).
- Impermeabilización de terrenos (vertederos, piscinas, estanques, pilas dinámicas en la gran minería).
- Empaques para partes automotrices.
- Charolas (trays) termoformados con la forma geométrica de la parte a contener.
- Tarimas.
- ush (Pallets).

2.4.2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

Algunas de sus aplicaciones son:

- Sacos y bolsas plásticas.
- Film para invernaderos y otros usos agrícolas.
- Objetos como vasos, platos, cubiertos.
- Botellas.
- Films estirables.
- Recubrimientos de cables.
- Mangueras para riego.
- Fibras
- Varios artículos para el hogar.

2.5. DISPONIBILIDAD DEL POLIETILENO.

El reciclaje de los polietilenos es muy factible, ya que en la ciudad de Guayaquil se encuentran distribuidos en diferentes productos de desechos industriales y post consumo, aproximadamente unas 50000 toneladas al año.

Estos se encuentran identificados con la siguiente simbología:



Figura 2.3. Símbolo del polietileno de alta densidad.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_alta_densidad



Figura 2.4. Símbolo del polietileno de baja densidad.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_baja_densidad

2.6. FUNDAMENTOS DEL PVC.

El poli (cloruro de vinilo) o PVC (del inglés poly (vinylchloride)) es un polímero termoplástico. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C.

Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloro eteno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

El átomo de cloro enlazado a cada átomo de carbono le confiere características amorfas principalmente e impiden su re cristalización, la alta cohesión entre moléculas y cadenas poliméricas del PVC se deben principalmente a los momentos dipolares fuertes originados por los átomos de cloro, los cuales a su vez dan cierto impedimento estérico es decir que repelen moléculas con igual carga, creando repulsiones electrostáticas que reducen la flexibilidad de las cadenas poliméricas, esta dificultad en la conformación estructural hace necesario la incorporación de aditivos para ser obtenido un producto final deseado.

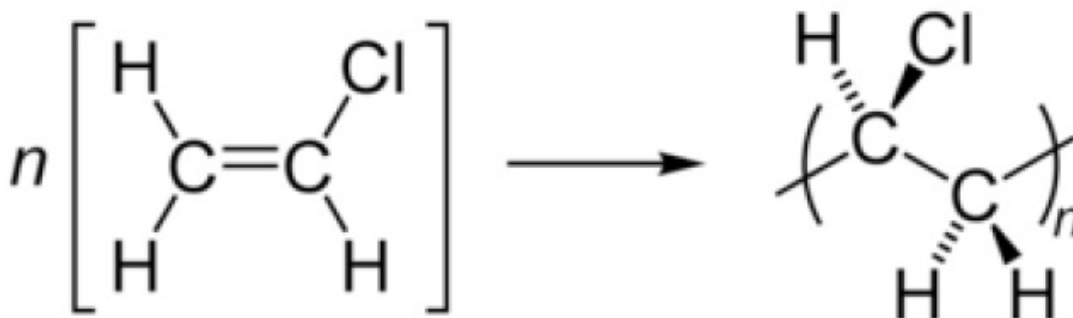


Figura. 2.5. Estructura molecular del PVC.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro_de_vinilo.

2.6.1. POLIMERIZACIÓN.

El cloruro de vinilo comercial es polimerizado por vía radicalica, en bloque, suspensión y emulsión. Los métodos de polimerización en solución tienen menor importancia comercial, al menos en Europa. Aunque no se facilitan los detalles del proceso, según una patente tipo, el Cloruro de vinilo es polimerizado con un 0,8% de peróxido de benzoílo, basado en el peso del monómero. La operación se realiza a 58 °C durante 17 horas en un cilindro rotativo, en cuyo interior hay bolas de acero inoxidable. Debido a que el polímero es insoluble en el monómero, la polimerización en bloque es heterogénea. La reacción es difícil de controlar y da lugar a una ligera disminución de las propiedades aislantes y de la transparencia. La forma y el tamaño de las partículas, así como la distribución de tamaños pueden ser controlados variando el sistema de dispersión y la velocidad de agitación.

En el país no existen plantas procesadoras del monómero cloruro de vinilo que es la materia prima para realizar la polimerización.

2.6.2. CARACTERISTICAS DEL PVC.

- Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad (1,4 g/cm³), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción.
- Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones.
- Es estable e inerte por lo que se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad, por ejemplo los catéteres y las bolsas para sangre y hemoderivados están fabricadas con PVC, así como muchas tuberías de agua potable.
- Es un material altamente resistente, los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; de acuerdo al estado de las instalaciones se espera una prolongada duración del PVC así como ocurre con los marcos de puertas y ventanas.
- Debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad, ni arde por si solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado los perfiles de PVC empleados en la

construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, se debe a la poca inflamabilidad que presenta.

- Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias debido a que es un buen aislante eléctrico.
- Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas (basta unos segundos expuestos a una llama) y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación.
- Alto valor energético. Cuando se recupera la energía en los sistemas modernos de combustión de residuos, donde las emisiones se controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.
- Rentable. Bajo coste de instalación.

2.6.3. CLASIFICACIÓN COMO COMPUESTO.

La resina directamente obtenida, sin importar sus características de peso molecular y composición, es inútil para cualquier proceso de transformación. Por ello debe de acompañarse de una serie de aditivos que proporcionen las características necesarias para ser procesado.

La ausencia o la adición de un líquido plastificante, genera la clasificación de la siguiente forma:

- PVC rígido.
- PVC flexible.

2.6.3.1. CARACTERISITICAS DEL PVC RIGIDO.

- Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza.
- Quebradizo a baja temperatura (tipos no modificados).
- Transparente.
- Buenas propiedades eléctricas para aplicaciones de voltajes y frecuencias bajas.
- Alta resistencia a agentes químicos.
- Auto extingible al retirarse la llama.

2.6.3.2. CARACTERISTICAS DEL PVC FLEXIBLE.

- Flexibilidad ajustable en un amplio margen.
- Tenacidad muy dependiente de la temperatura.
- Traslucido a transparentes.
- Buenas propiedades eléctricas para aplicaciones de voltajes y frecuencias bajas.
- Resistencia a los ataques químicos dependiente de la formulación y la temperatura.

CAPITULO III

3. EL RECICLAJE DE PLASTICOS.

3.1.INTRODUCCION.

El problema ambiental se ha venido dando en el mundo aproximadamente desde hace 20 años. La sociedad acostumbrada a la utilización de un cierto tipo de materiales y productos se encontró de pronto sumergida en un Ambiente neoliberal consumista que le proveía cada día de productos nuevos que hacían la vida relativamente más cómoda, más fácil y más placentera. La cultura del desechable, líder en esta etapa contaminante fue exitosamente recibida por consumidores seducidos por la practicidad del: Úsese y tírese.

Actualmente cuesta trabajo imaginar ciertos aspectos de nuestra vida sin la posibilidad de utilizar artículos desechables y debidos a las características de los mismos y a la cultura ya establecida, el comercio de dichos productos no disminuye y sigue ganando terreno a otros productos que representan algún tipo de trabajo después de usarlos. Sin embargo así como la cultura del desechable llego para quedarse, es necesario que otra cultura haga contrafuerte a la misma, logrando mantener un crecimiento sustentable. La cultura que hay que promover es la del reciclaje.

El plástico es sin duda uno de los materiales de la modernidad y gracias a sus innumerables usos y características va ganando terreno a otros anteriormente usados. En cuanto a la cultura del reciclaje, está ya ha demostrado desde hace varios años ser una alternativa rentable, sin embargo en el Ecuador no se tiene registro de programas exitosos de reciclaje masivo y sostenido. Por otro lado el mercado que existe para el material de desecho es sumamente reducido y la utilización de materiales reciclados en la producción de nuevos artículos no se fomenta. No hay cultura de separación y la política tampoco ayuda al establecimiento de dichos programas. Se han tenido iniciativas importantes en diversas localidades y se puede notar un fuerte interés ecológico en la sociedad, así como una preocupación por la situación que guarda la ecología. Sin embargo los intentos no han sido premiados con la permanencia, y los volúmenes de basuras desechadas avanzan a velocidades dignas de alarma. Los recursos naturales se continúan agotando y el contexto ecológico cada día es más preocupante.

El material plástico tiene varios puntos a favor; es económico, liviano, funcional, dúctil, duradero, además de ser un aislante eléctrico y acústico. Pero a la hora de hablar de reciclaje este presenta muchos inconvenientes.

Para reciclar plástico, que provienen de desechos post consumo y post industrial, primero hay que clasificarlos de acuerdo con la resina. Es decir, en 7 clases distintas: PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS y una séptima categoría denominada “otros”. La separación es debida a que, las resinas que componen cada una de las categorías de plástico son termodinámicamente incompatibles unas con otras. A eso hay que sumarle el trabajo de separar las tapas, que generalmente no están hechas del mismo material. Este no es el único inconveniente; en el proceso de reciclaje el plástico pierde algunas de sus propiedades originales, por lo que hay que agregarle una serie de aditivos para que recupere sus propiedades.

3.2. TIPOS DE RECICLAJE.

Hay cuatro tipos de reciclaje de plásticos: primario, secundario, terciario y cuaternario. El conocer cuál de estos tipos se debe usar depende de factores tales como la limpieza, homogeneidad del material, valor del material de desecho y la aplicación final que se le espera dar a este.

3.2.1. RECICLAJE PRIMARIO.

También llamado reciclaje mecánico, consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET, PEAD, PEBD, PS y PVC. El proceso se lo realiza en los siguientes pasos:

- **Separación:** Los métodos de separación pueden ser clasificados en separación macro, micro y molecular. La macro separación se hace sobre el producto completo usando el reconocimiento óptico del color o la forma. La micro separación puede hacerse por una propiedad física específica: tamaño, peso, densidad, etc.
- **Granulado:** Por medio de un proceso industrial, el plástico se muele y convierte en gránulos parecidos a las hojuelas del cereal.
- **Limpieza:** Los plásticos granulados están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, de ahí que deben limpiarse primero.
- **Peletizado:** Para esto, el plástico granulado debe fundirse y pasarse a través de un tubo delgado para tomar la forma de spaghetti al enfriarse en un baño de agua. Una vez frío es cortado en pedacitos llamados pellets.

3.2.2. RECICLAJE SECUNDARIO.

También considerado como reciclaje mecánico de segundo orden, en este tipo de reciclaje se convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplos de estos plásticos recuperados por esta forma son los termoestables o plásticos contaminados.

Este proceso elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos, en vez incluyen tapas de aluminio, papel, polvo, etc.; se muelen y funden juntas dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

3.2.3. RECICLAJE TERCIARIO

Este tipo de reciclaje degrada el polímero a compuestos químicos básicos y combustibles, también llamado reciclaje químico. Es diferente a los dos primeros porque involucra además de un cambio físico un cambio químico. A continuación mostramos los distintos procesos donde se involucra el reciclaje químico.

Figura. 3.1. Métodos para el reciclaje químico.



Fuente: Reciclaje de plásticos (Antón Jungbauer)

3.2.3.1. HIDRÓLISIS.

Los productos de la poliadición y policondensación son, a temperaturas normales de uso, resistentes a la hidrólisis. Sin embargo, pueden ser disociados con agua temperaturas elevadas y eventualmente a agregados de bases y ácidos. Los productos de la descomposición se pueden volver a integrar por medio de la correspondiente polireacción.

Al grupo de poliaductos y policondensados que pueden ser disociados con agua, pertenecen una amplitud de poliamidas, poliésteres, policarbonatos y poliuretanos. El reciclaje por hidrólisis se perjudica por la presencia de impurezas en los plásticos y distintas estructuras moleculares de los plásticos de un mismo tipo.

El problema de este proceso es que requiere de tiempos largos de reacción, por lo que no es viable económicamente.

3.2.3.2. ALCOHÓLISIS.

Para la descomposición solvolítica de policondensados y poliaductos, se pueden utilizar también alcoholes, en vez de agua. Una notoria significación ha alcanzado la alcoholisis del politereftalato de etileno (PET) y de poliuretanos (PUR).

Consiste en mezclar los gránulos del material con metanol en presencia de un catalizador. La mezcla se calienta a presión para forzar la despolimerización en sus componentes bases, Por último los productos de la metanolisis se enfrían, se cristalizan y se separan por medio de filtración. Como ejemplo tenemos la metanolisis del politereftalato de etileno (PET).

3.2.3.3. HIDROGENACIÓN.

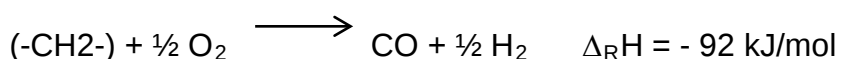
Bajo hidrogenación se entiende de forma generalizada, la inclusión de hidrogeno en los compuestos orgánicos. Para la hidrogenación de plásticos se requieren de temperaturas de 500 °C y presiones de hidrogeno de 200 Bar. Bajo estas condiciones, las macromoléculas de los plásticos se separan térmicamente y las valencias libres son ocupadas por los hidrógenos. Como productos de la hidrogenación se obtiene hidrocarburos alifáticos gaseosos y líquidos. Los compuestos aromáticos son transformados en cicloalifáticos.

Los átomos ajenos en los polímeros pasan a los correspondientes compuestos hidrogenados. Los restos inorgánicos de los plásticos permanecen en el residuo de la hidrogenación. Los materiales compuestos se dejan hidrogenar sin problema.

3.2.3.4. GASIFICACIÓN.

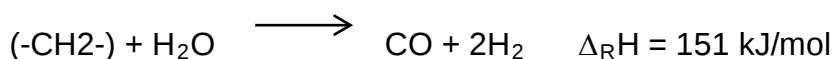
La gasificación de residuos plásticos representa una posibilidad del reciclaje químico. De todos modos hasta ahora solamente se han llevado a cabo exceptuando las pruebas de laboratorio, algunos intentos en instalaciones de gasificación de carbón y de aceites pesados.

Bajo gasificación de plásticos se entiende, la oxidación parcial con oxígeno en el sentido de la siguiente reacción:



Con esta reacción fuertemente exotérmica, se produce monóxido de carbono e hidrógeno. La mezcla de ambos gases se denomina gas de síntesis. Cuando la reacción molar de ambos gases es 1, se habla de entonces de: gas de agua.

Si la mezcla de plásticos agrega vapor de agua a temperaturas por encima de 1000 °C, entonces produce una reacción endotérmica que genera más hidrógeno:



Este gas de síntesis es producido en la industria química, en gran medida por el gas natural o del petróleo y aplicado a varias operaciones de síntesis.

3.2.3.5. PIRÓLISIS.

Bajo pirólisis (o combustión) se entiende, la degradación térmica del residuo de los plásticos en ausencia de oxígeno (o por lo menos en muy escasa presencia del mismo). Por medio de la pirólisis las macromoléculas, presentes en los duro y termoplásticos, son reducidas a compuestos de bajo peso molecular en una reacción endotérmica.

Como productos de la pirolisis se obtienen: gases, aceites, y un residuo rico en carbono, pero variando los materiales ingredientes y conducción del proceso, se permite controlar, un entorno estrecho de descomposición del producto.

En comparación con el quemado, las ventajas de la pirólisis se encuentra en la recuperación de las materias primas químicas y la reducción de unas 10 veces, la emisión de gases. Además de sustancias contaminantes como los metales pesados se combinan firmemente en el residuo de la pirólisis.

La desventaja mayor es el muy elevado consumo de energía para la descomposición térmica de los residuos plásticos.

Los métodos de pirólisis aplicados industrialmente se dividen en: a baja temperatura y a alta temperatura.

3.2.4. RECICLAJE CUATERNARIO.

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía. Las ventajas: mucho menos espacio ocupado en los rellenos sanitarios, la recuperación de metales y el manejo de diferentes cantidades de desechos. Sin embargo, una de las desventajas es la generación de contaminantes gaseosos.

3.2.5. OTROS METODOS DE RECICLAJE.

Una denominación más amplia de reciclado incluye la transformación de residuos plásticos por reciclaje orgánico como compostaje y biometanización.

La fotodegradación de materiales plásticos se debe a la acción combinada de la luz, oxígeno atmosférico y calor, y en el proceso global más frecuente al que se ven sometidos los polímeros expuestos a la intemperie.

La biodegradación consiste en la transformación y deterioro de los materiales plásticos por la acción de organismos vivos. Se pueden considerar la fotodegradación como un proceso previo a la degradación, ya que mediante el primer proceso, disminuye el peso molecular de las cadenas macromoleculares que integran los polímeros, haciéndolos más fácilmente biodegradables.

CAPITULO IV.

4. INGENIERÍA DEL PROYECTO.

4.1. TECNOLOGÍA APLICADA.

4.1.1. INTRODUCCIÓN.

La fabricación de manufacturado con polímeros reciclados (estructura base de los plásticos) no requieren adiciones significativas en la fabricación, mientras elimina todo el ciclo de extracción refinado y producción de los mismos polímeros que es parte ecológicamente más gravosa para el ambiente sobre todo desde el punto de vista energético.

La industria se queja de la escasa calidad de la “materia segunda” en el campo del plástico. Es indudable que el reciclaje del plástico se ve fuertemente condicionado por la calidad y la contaminación de los materiales recuperados.

Pero si se pone en consideración que primeramente la mayoría de los plásticos vienen del petróleo, un recurso claramente no renovable, el cual cada día es más costoso y por otro lado el reciclaje químico es bastante caro y no siempre estará al alcance de la economía de varios países, por estas razones, el reciclaje mecánico es la mejor alternativa para este propósito.

El reciclaje mecánico (o reciclaje primario) es fundamental para distintos plásticos y consiste en la separación / clasificación, limpieza, extruido (homogenización) y en algunos casos el pelletizado, aunque para el proceso del moldeo por inyección o por compresión se puede utilizar el material picado.

No obstante el problema básico, es que los plásticos son muy distintos entre sí y mezclarlos da lugar a una debilitación estructural, debida principalmente a las estructuras y familias de los polímeros existentes, hasta ahora al problema de usar o no agentes compatibilizantes los cuales ayudan a mejorar la miscibilidad de las diferentes clases de polímeros.

Debido a esto se escoge el proceso de reciclado mecánico para la obtención de los pellets de PVC y pellets de polietileno (como producto principal) el cual se producirá por una media de los polietilenos de alta y de baja densidad, para obtener un producto de media densidad (polietileno de media densidad)

4.1.2. RECICLAJE MECANICO.

Es la técnica que se utilizara para este proyecto, además es la técnica más utilizada en la actualidad. Consiste en la molienda, separación y lavado de los materiales utilizados como materias primas, produciendo un producto de

forma fragmentada y de tamaño homogéneo más pequeño, el cual se puede extruir y pelletizar para garantizar la homogeneidad del producto al cliente.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

4.2.1. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (ACOPIO).

El acopio es simplemente la recolección del material, básicamente para este proceso es la recolección de los polietilenos (PEAD y PEBD) y el PVC. Esto se lo puede hacer buscando el material en los puntos fijos de acopio o a través de asociaciones de recolectores, en este punto vale aclarar que la conformación de una microempresa de recolección es fundamental para la generación de empleo a muchas personas, es importante además puntualizar que un buen sistema de acopio garantiza un buen suministro de la materia prima.

La materia prima obtenida en este proceso de acopio bien acompañado de residuos no deseados, como papel, madera, vidrio, metales, etc.

4.2.2. CLASIFICACIÓN / SELECCIÓN DEL MATERIAL.

La materia prima acopiada, es clasificada y separada manualmente (puede ser in situ o con bandas transportadoras) de los materiales no deseados como son el papel, vidrio, madera, metales y otros, pues para el diseño de

este proceso decimos que el 2% del peso total del material acopiado es residuos no deseados.

4.2.3. MOLIENDA.

El material clasificado, seleccionado (PE + PVC) y sucio entra a un molino en donde se producirá el quebrantamiento y fraccionamiento a partículas más pequeñas (aproximadamente de 1 cm²). El tamaño de las partículas obtenidas en este proceso dependerá del molino que se utilice, esto puede ser a través de un de cuchillas. Es necesario anotar que para este caso se ha especificado que el proceso de molienda tendrá un 2 % de residuos como los son los materiales muy finos y las perdidas (fracciones de polvos).

Figura 4.1. Fraccionador (Molino de cuchillas).



Fuente: www.directyindustry.com

4.2.4. LAVADO POR FRICCIÓN.

El material mezclado y fragmentado de PE (de alta y baja densidad) y PVC presenta un 2% de suciedad (mugre, grasa, materia orgánica) que será llamada como lodos o limo. Este flujo de material será pasado por un equipo de lavado por fricción, el cual es alimentado a contracorriente con una solución detergente que tiene efectos desengrasantes, a través de una formulación con diversos químicos tensoactivos. La solución detergente tiene una concentración del 0,5 % del químico tensoactivos, el cual permite limpiar la materia prima que encontraba sucia.

Figura 4.2. Máquina de lavado por fricción.

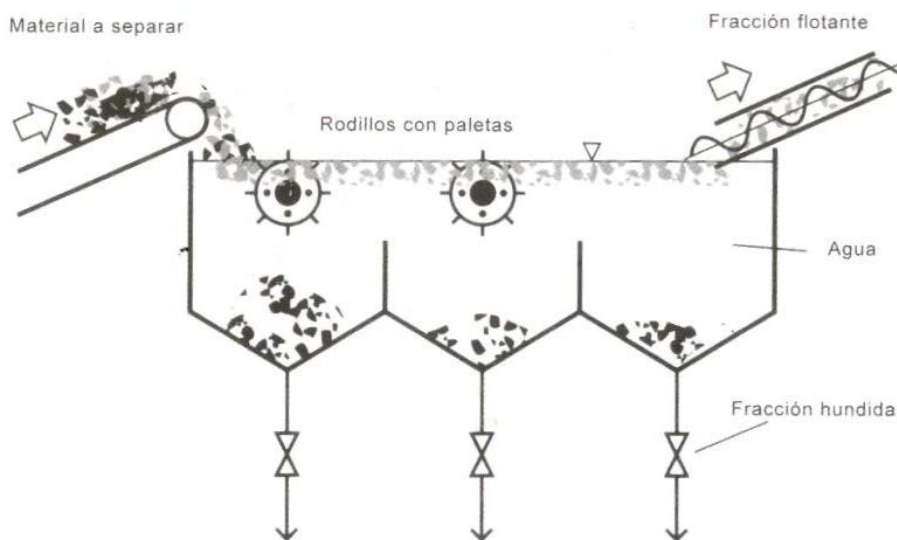


Fuente: www.directindustry.com

4.2.5. ENJUAGE Y SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN.

El flujo de material (PE + PVC) que sale de la lavadora por fricción, contiene aproximadamente un 10 % de solución detergente, este es enviado a un equipo que realiza la función de enjuague y separación de los componentes del flujo de material., la cual va a eliminar el remanente de detergente al mezclarse con agua que se encuentra en una cuba, por medio de los rodillos con paletas se produce la agitación del flujo de material donde por gravedad la fracción pesada (PVC) se irán hacia el fondo del tanque y la fracción liviana (Polietileno de alta y de baja) sale del tanque por la parte superior, ambos con un 10 % de humedad.

Figura 4.3. Esquema de enjuague y separación por flotación.



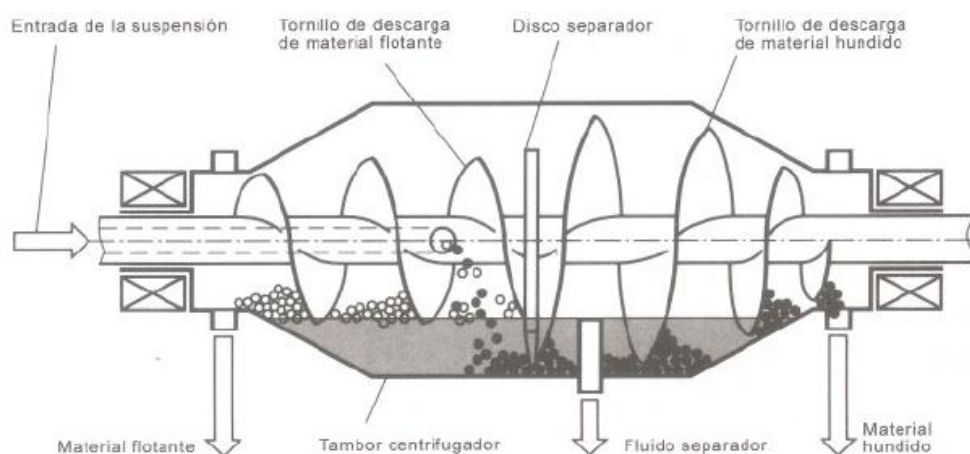
Fuente: Reciclaje de plásticos 2004 (Anton Jungbauer)

4.2.6. CENTRIFUGADO.

El material separado en fracción ligera (polietilenos) y fracción pesada (PVC), en la cual tiene una presencia de humedad del 10% en cada corriente, es enviado a unas centrifugas de malla, una para la fracción ligera (PE) y otra para la fracción pesada (PVC), la cual va a permitir retirar el agua de los compuestos y tener un producto con 2 % de humedad.

El 8% del agua que contenía el compuesto, es enviada a un tratamiento con filtros y químicos para así poder ser reutilizada en el proceso. Algunas centrifugas de mallas también pueden separar fracciones pesadas en el fondo de las mismas, como podemos ver en el siguiente esquema:

Figura 4.4. Esquema de centrifugado con separación.



Fuente: Reciclaje de plásticos 2004 (Anton Jungbauer)

4.2.7. SECADO.

Posteriormente del ciclo de centrifugado del material, donde se obtuvo un producto con 2% de agua, es necesario secar el material y reducir su humedad prácticamente a niveles ínfimos, para esto se utilizan dos secadores con aire a temperatura ambiente, uno para la fracción ligera (mezcla de polietilenos) y otro para la fracción pesada (PVC).

Figura 4.5. Equipo de secado con aire a temperatura ambiente.



Fuente: www.directindustry.com (equipos de reciclaje HERBOLD)

4.2.8. ALMACENAMIENTO PREVIO.

Una vez separados y secados, los productos ligeros (polietilenos) y pesados (PVC) son almacenados en silos previo al proceso siguiente que es de extrusión.

Figura 4.6. Tolva de almacenamiento.



Fuente: www.directindustry.com (equipos de reciclaje HERBOLD)

4.2.9. EXTRUSION - PELLETIZADO.

El proceso de extrusión pelletizado, tiene como finalidad homogenizar el material alimentado por fricción y cizallamiento, el material es fundido hasta

ser enviado a una pelletizadora que es donde se va a dar la forma y el tamaño final del pellet.

Para nuestro caso se utilizó una extrusora y pelletizadora para simplificar el proceso en la cual se obtiene un producto homogéneo y un residuo de 0,5 % producto de la descomposición térmica de estos productos.

EL proceso se aplica tanto para la fracción ligera (polietileno) en el cual el producto final será un pellet de polietileno de media densidad, como para la fracción pesada, obteniendo los pellets de PVC.

Figura 4.7. Extrusora y pelletizadora.



Fuente: www.oxl.com.mx (venta de extrusora-pelletizadora).

4.2.10. ALMACENAMIENTO FINAL.

Los productos ya pelletizados independientemente (PVC y PEMD) son almacenados en silos para su posterior venta. EL embalaje y despacho se realizan posteriormente a esta operación.

4.3. VARIABLES DEL PROCESO.

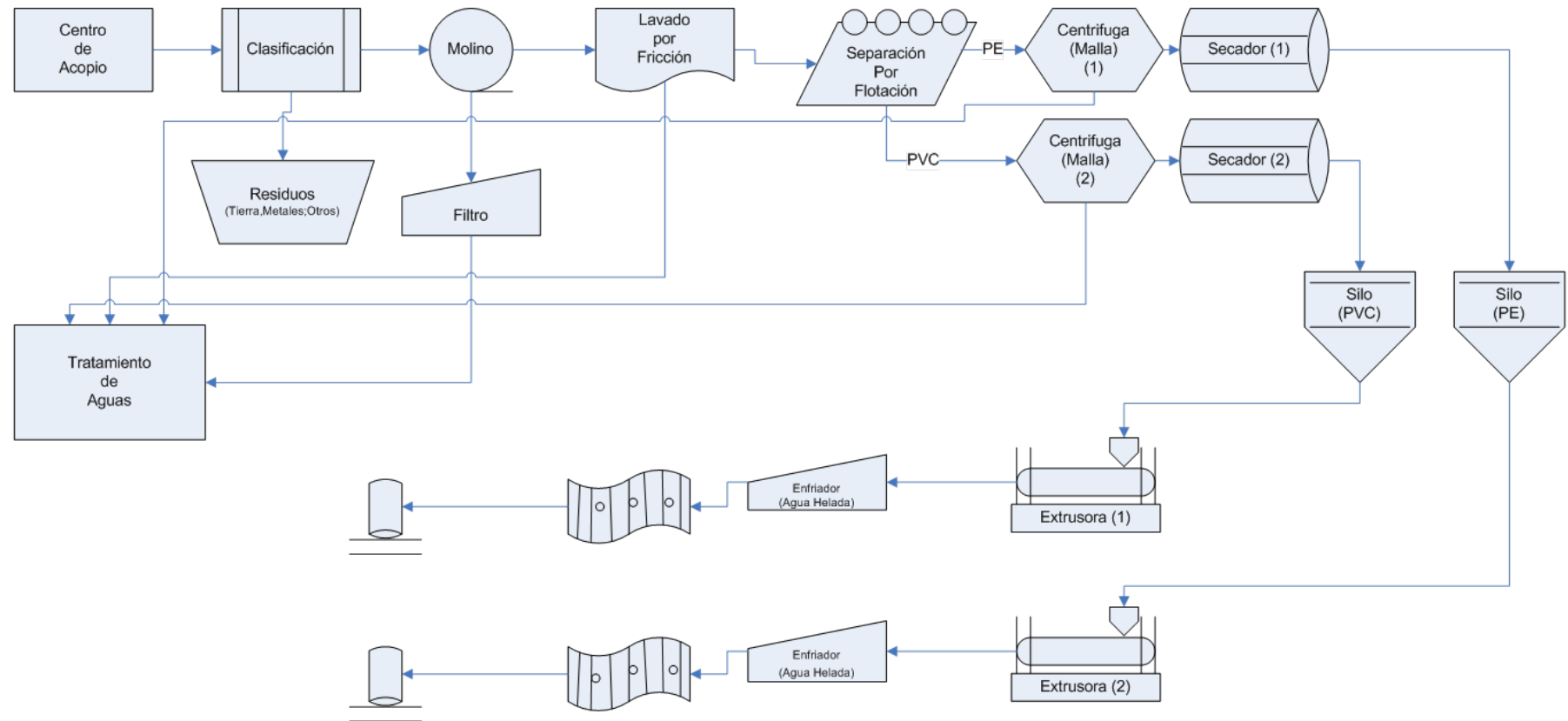
Se puede considerar como las variables más importantes en el proceso a las siguientes:

- La calidad de la materia prima que ingresa (fracción de PE de alta y de baja densidad)
- La cantidad de suciedad que se presenta en la materia prima (grasas, mugre, etc.).
- La solución de detergente utilizada en el lavado por fricción.
- La humedad del material resultante del lavado.
- La humedad relativa del aire.
- La humedad del material en el secador.
- Las temperaturas de procesamiento del PVC.
- Las temperaturas de procesamiento en la extrusora para homogenizar la mezcla de polietilenos de alta y de baja densidad a uno resultante como de media densidad.

4.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.

A continuación ponemos a consideración el diagrama de flujo del proceso de obtención de polietileno de media densidad y PVC a partir de material reciclado, con sus respectivas operaciones unitarias y en orden lógico.

Figura 4.8. Diagrama de flujo del proceso de obtención de PEMD y PVC a partir de material reciclado.



4.5. BALANCE DE MATERIA POR OPERACIONES UNITARIAS.

4.5.1. ACOPIO DEL MATERIAL.

En esta operación se receipta el material en la planta y se realiza una inspección visual para determinar si la materia prima es adecuada para el proceso de reciclado.

En esta operación no existe la salida de producto. Únicamente es la entrada de la materia prima, para lo cual se tomara como base de cálculo 10000 Kg/día de material. La cual se estima su composición para efecto de cálculo de un 35 % de polietileno de alta densidad, un 35 % de polietileno de baja densidad y un 30 % de PVC.

Cabe recalcar que la sumatoria de la materia prima da 10000 Kg/día de material mezclado, el cual tiene un 2% estimado de residuos no deseados, como la tierra, vidrio, metales y otros.

Entonces tenemos:

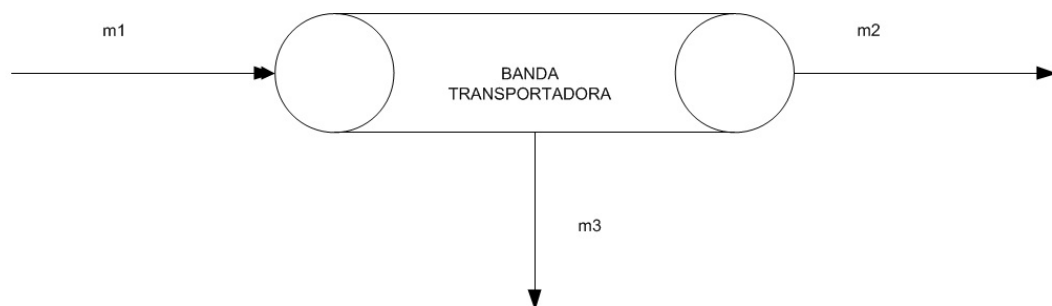
BASE DE CALCULO: 10000 kg/Día de mezcla de PE + PVC con residuos.

Este dato será la base para la próxima operación de separación y clasificación donde se eliminan los residuos.

4.5.2. CLASIFICACIÓN / SELECCIÓN DEL MATERIAL.

Este proceso se realiza de forma manual separando los materiales considerados como residuos sólidos no deseados como son la tierra, vidrio, madera, metales y otros.

Figura 4.9. Diagrama de flujo separación / clasificación.



m_1 = Mezcla de Polietilenos y PVC con residuos.

m_2 = Mezcla de PE + PVC sucio.

m_3 = Residuos (tierra, metales, otros, etc.).

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_3 = 0.02 \cdot m_1$$

m_1 = 10000 Kg/día Mezcla de PE + PVC con residuos.

$$m_3 = 0.02 \cdot (10000 \text{ Kg/día Mezcla de PE + PVC con residuos.})$$

m_3 = 9800 Kg/día Mezcla de PE + PVC sucios.

TABLA 4.1.

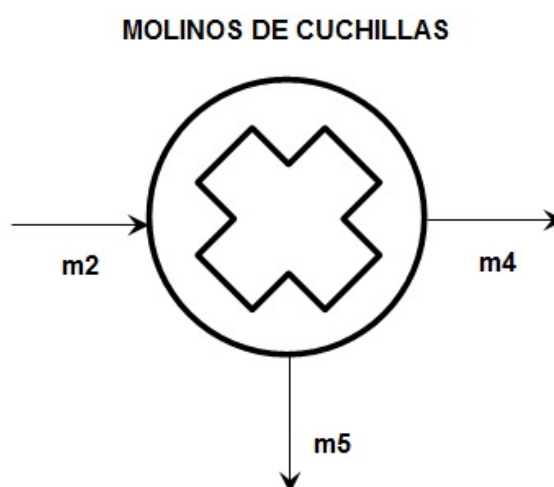
BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE SEPARACIÓN Y CLASIFICACION.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m1	Mezcla de PE + PVC con residuos	Kg	10000
TOTAL			10000
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m2	Mezcla de PE + PVC sucio	Kg	9800,00
m3	Residuos (tierra, metales, otros, etc.)		200,00
TOTAL			10000,00

4.5.3. MOLIENDA.

En esta operación se fragmenta la materia prima (PE + PVC) hasta un tamaño de partícula de 1 cm de diámetro. La operación se la realiza en un molino de cuchillas.

Figura 4.10. Diagrama de flujo de la molienda.



m_2 = Mezcla de PE + PVC sucio.

m_4 = Mezcla de PE + PVC molido sucio.

m_5 = Residuos (mat. Fino + perdidas)

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_2 = m_4 + m_5$$

$$m_4 = 0.02 \cdot m_2$$

m_2 = 9800 Kg/día Mezcla de PE + PVC sucios.

$m_4 = 0.02 \cdot (9800 \text{ Kg/día Mezcla de PE + PVC sucios.})$

m_4 = 9604 Kg/día Mezcla de PE + PVC sucios.

TABLA 4.2.

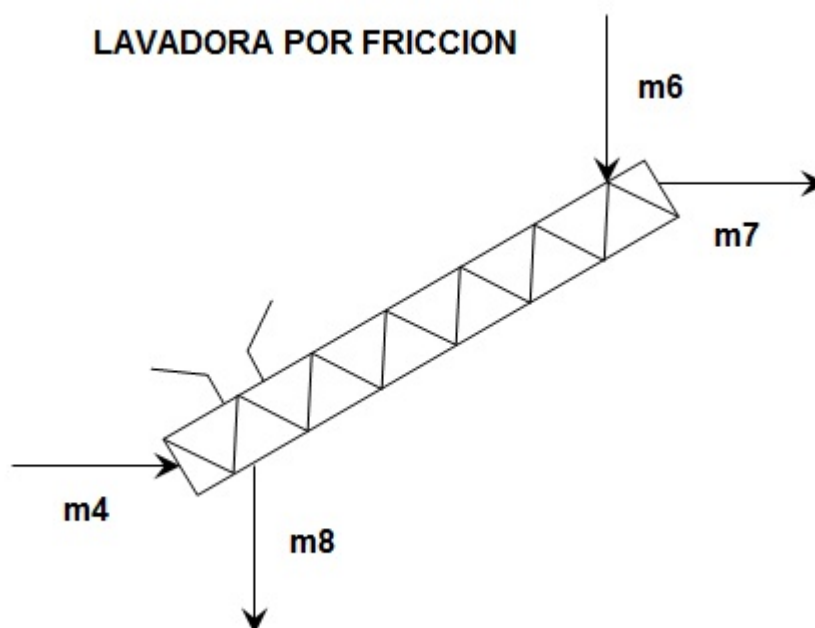
BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE MOLIENDA.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m2	Mezcla de PE + PVC sucio	Kg	9800,00
TOTAL			9800,00
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m4	Mezcla de PE + PVC molido sucio	Kg	9604,00
m5	Residuos (mat. Fino + perdidas)		196,00
TOTAL			9800,00

4.5.4. LAVADO POR FRICCIÓN.

En este proceso se determina la calidad del producto final, se utilizara un equipo de lavado por fricción, que usa una solución de detergente 0,5 %. Con una relación de 5 kg sol. Detergente/kg Material ingresado en la máquina.

Figura 4.11. Diagrama de flujo del lavado por fricción.



m4 = Mezcla de PE + PVC molido sucio

m6 = Solución detergente

m7 = Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo

m8 = Solución detergente con lodos.

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_4 + m_6 = m_7 + m_8$$

$$m_6 = m_4 \cdot 5 = (9604) \cdot 5 = 48020 \text{ Kg Solución detergente/día.}$$

Solución al 0.5 % de detergente.

$$\text{Detergente} = 48020 (0.005) = 240.10 \text{ kg detergente/día.}$$

$$\text{Agua} = 48020 (0.995) = 47779.9 \text{ kg agua/día}$$

La solución detergente sale con 10% de lodos (suciedad).

$$m_7 = m_4 - 0.02 \cdot m_4 + 0.10 \cdot m_4 = 10372.32 \text{ Kg Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo}$$

$$m_8 = m_6 - 0.10 \cdot m_4 + 0.02 \cdot m_4 = 47251.68 \text{ Kg Solución detergente con lodos}$$

$$\text{Lodos} = m_4 \cdot 0.02$$

$$\text{Lodos} = (9604)(0.02)$$

$$\text{Lodos} = 192.08 \text{ Kg.}$$

TABLA 4.3.

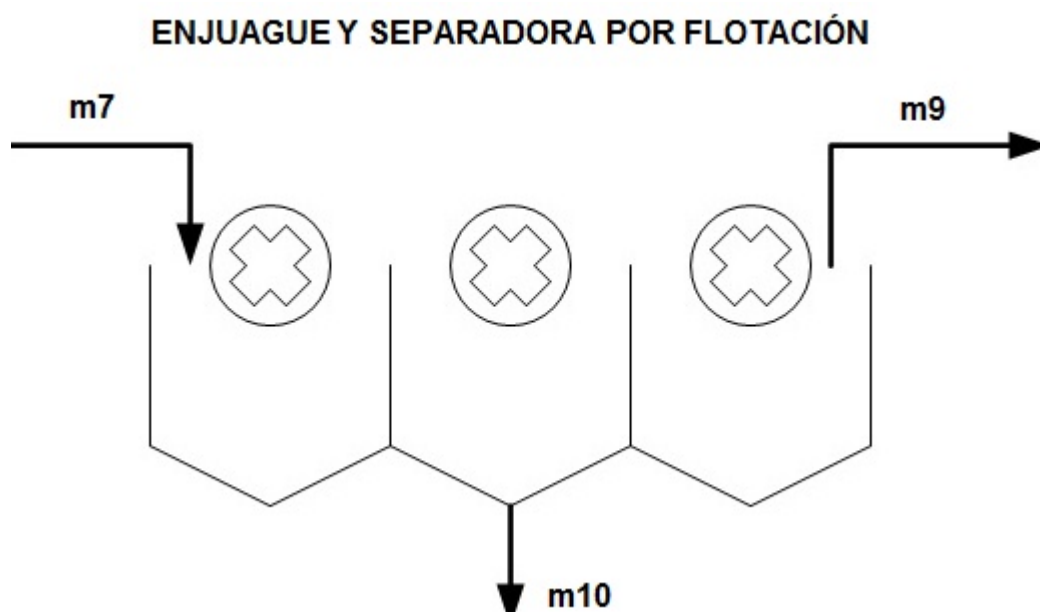
BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE LAVADO POR FRICCIÓN.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m4	Mezcla de PE + PVC molido sucio	Kg	9604.00
m6	Solución detergente		48020.00
TOTAL			57624.00
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m7	Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo	Kg	10372.32
m8	Solución detergente con lodos		47251.68
TOTAL			57624.00

4.5.5. ENJUAGUE Y SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN.

El producto del lavado ingresa al enjuague y separación por flotación con un 10% de humedad proveniente de la lavadora, luego por gravedad precipita en el fondo el PVC limpio y húmedo y por la parte superior sale el producto mezcla de polietilenos limpios y húmedos. El agua de este proceso se recircula por lo que siempre se utiliza la misma cantidad de agua.

Figura 4.12. Diagrama de flujo de enjuague y separación.



m7 = kg/día de Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo.

m9 = kg/día Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo.

m10 = PVC molido, limpio y húmedo.

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m7 = m9 + m10$$

$$m9 = 0.7 \cdot m7 = 0.7 (10372,32 \text{ kg/día de Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo.})$$

$$m9 = 7260,62 \text{ Kg/día Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo}$$

$$m10 = m7 - m9$$

$$m10 = 3111,70 \text{ Kg/día PVC molido, limpio y húmedo.}$$

TABLA 4.4.

BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE ENJUAGE Y SEPARACION POR FLOTACION

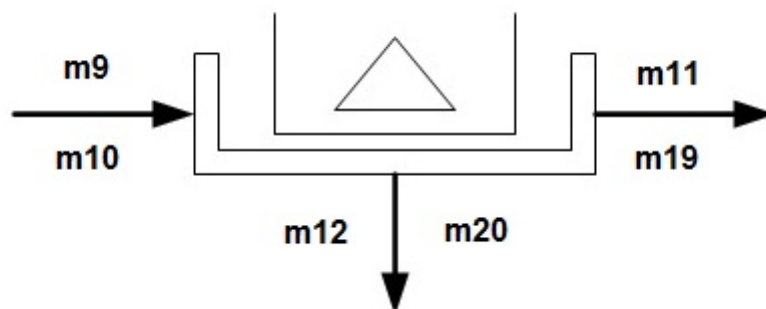
ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m7	Mezcla de PE + PVC molido limpio y húmedo	Kg	10372.32
TOTAL			10372.32
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m9	Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo	Kg	7260.62
m10	PVC molido, limpio y humedo.		3111.70
TOTAL			10372.32

4.5.6. CENTRIFUGADO.

Se encarga de separar el agua de las materias primas que serán pelletizados a futuro, del 10 % de agua que lleva cada fracción (PVC y Mezclas de polietilenos) se reduce a 2 %. Este proceso se hace en serie a cada uno de las fracciones por lo que se tendrán dos centrifugadoras.

Figura 4.13. Diagrama de flujo del centrifugado.

CENTRIFUGA DE MALLA (PARA PVC Y PARA MEZCLA DE PE)



Para Mezcla de polietilenos (centrifuga 1):

m_9 = kg/día Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo.

m_{11} = kg/día de Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo.

m_{12} = kg/día de agua retirada.

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_9 = m_{11} + m_{12}.$$

$$m_{12} = 0.08 \cdot m_9$$

$$m_{12} = 0.08 \cdot (7260,62 \text{ kg/día}) = 580,85 \text{ Kg agua retirada.}$$

$$m_{11} = m_9 - m_{12}.$$

$$m_{11} = 6679,77 \text{ kg/día Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo.}$$

Para el PVC (centrifuga 2):

$$m_{10} = m_{19} + m_{20}.$$

m_{10} = kg/día PVC molido, limpio y húmedo.

m_{19} = kg/día de PVC molido, limpio y húmedo.

m_{20} = kg/día de agua retirada.

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$m_{10} = m_{19} + m_{20}$.

$m_{20} = 0.08 \cdot m_{10}$

$m_{12} = 0.08 \cdot (3111,70 \text{ kg/día}) = 248,94 \text{ Kg agua retirada}$.

$m_{19} = m_{10} - m_{20}$.

$m_{11} = 2862,76 \text{ kg/día PVC molido, limpio y húmedo}$.

TABLA 4.5.

BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE CENTRIFUGADO DE POLIETILENO.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m9	Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo	Kg	7260.62
TOTAL			7260.62
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m11	Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo	Kg	6679.77
m12	Agua retirada		580.85
TOTAL			7260.62

TABLA 4.6.

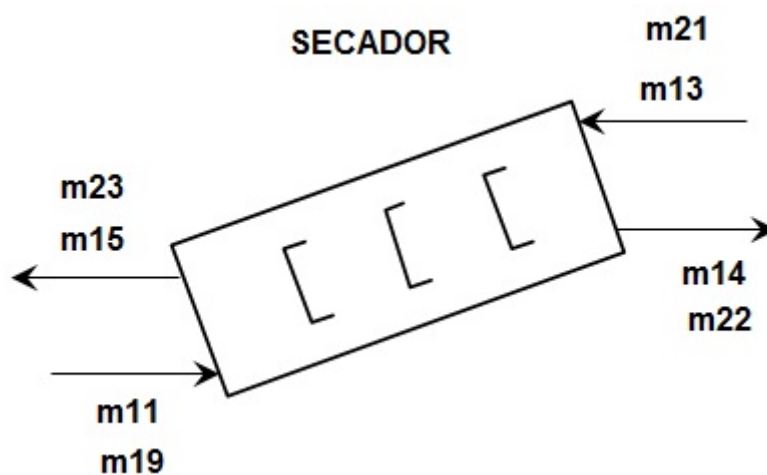
BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE CENTRIFUGADO DEL PVC.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m10	PVC molido, limpio y humedo.	Kg	3111.70
TOTAL			3111.70
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m19	PVC molido, limpio y humedo.	Kg	2862.76
m20	Agua retirada		248.94
TOTAL			3111.70

4.5.7. SECADO.

Esta operación tiene como objeto eliminar cualquier remanente de humedad en el material a reciclar. Para esto se utilizara un secador con aire a temperatura ambiente el cual eliminara toda la humedad tanto para el PVC como para la mezcla de polietilenos. Se utilizaron dos secadores.

Figura 4.14. Diagrama de flujo de los secadores.



Para Mezcla de polietilenos (secador 1):

$$m_{11} + m_{13} = m_{14} + m_{15}$$

m_{11} = kg/día de mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo.

m_{13} = kg/día Aire tomado del ambiente (30 °C; 1 atm)

m_{14} = kg/día de mezcla de PE (AD y BD) seco.

m_{15} = kg/día Aire saturado de humedad.

TABLA 4.7. Calculo del aire tomado del ambiente para el secador 1.

Temperatura ambiente:	30	°C
Humedad relativa:	60	%
Constante "R":	0.00008206	m ³ .atm/g-mol.°K
Temperatura absoluta:	303	°K
Presion de vapor:	0.0419	atm
Volumen de aire:	1	m ³
peso molecular del agua:	18	g H ₂ O /g-mol H ₂ O
m H ₂ O (total)	1.685155111	g -mol H ₂ O
	0.030332792	Kg H ₂ O
m H ₂ O (humedad)	1.011093066	g -mol H ₂ O
	0.018199675	Kg H ₂ O
Masa de agua extraible	0.012133117	Kg H ₂ O
Masa de PE humedo	6679.77	Kg PE humedo
Masa de agua	133.60	Kg Agua
Masa de PE seco	6546.18	Kg PE Seco
	1.682021496	m ³ aire amb/ Kg PE seco
Densidad del aire	1.145	Kg/m ³ de aire
	1.925914613	Kg aire amb/Kg PE seco
aire del ambiente	12607.38	Kg aire ambiente
aire saturado humedad	12740.98	kg aire humedo
	133.60	

Para el PVC (secador 2):

$$m_{19} + m_{21} = m_{22} + m_{23}$$

m_{19} = kg/día de PVC molido, limpio y húmedo.

m_{21} = kg/día Aire tomado del ambiente (30 °C; 1 atm)

m_{22} = kg/día de PVC seco.

m_{23} = kg/día Aire saturado de humedad

TABLA 4.8. Calculo del aire tomado del ambiente para el secador 2.

Temperatura ambiente:	30	°C
Humedad relativa:	60	%
Constante "R":	0.00008206	m ³ .atm/g-mol.°K
Temperatura absoluta:	303	°K
Presion de vapor:	0.0419	atm
Volumen de aire:	1	m ³
peso molecular del agua:	18	g H ₂ O /g-mol H ₂ O
m H ₂ O (total)	1.685155111	g -mol H ₂ O
	0.030332792	Kg H ₂ O
m H ₂ O (humedad)	1.011093066	g -mol H ₂ O
	0.018199675	Kg H ₂ O
Masa de agua extraible	0.012133117	Kg H ₂ O
Masa de PVC humedo	2862.76	Kg PE humedo
Masa de agua	57.26	Kg Agua
Masa de PVC seco	2805.51	Kg PE Seco
	1.682021496	m ³ aire amb/ Kg PE seco
Densidad del aire	1.145	Kg/m ³ de aire
	1.925914613	Kg aire amb/Kg PE seco
aire del ambiente	5403.16	Kg aire ambiente
aire saturado humedad	5460.42	kg aire humedo
	57.26	

Para el cálculo de la cantidad de aire tomado del ambiente, se utilizó la ecuación de los gases Ideales ($pV = nRT$) suponiendo que las condiciones climáticas en Guayaquil son a 30 °C y 1 atm de presión,

Resolviendo las ecuaciones, los balances de materias para los dos secadores quedan expresados en las siguientes tablas.

TABLA 4.9.

BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE SECADO DE POLIETILENO.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m11	Mezcla de PE (AD y BD) molido, limpio y húmedo	Kg	6679.77
m13	Aire tomado del ambiente (30 °C; 1 atm)		12607.38
TOTAL			19287.16
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m14	Mezcla de PE (AD y BD) seco	Kg	6546.18
m15	Aire saturado de humedad		12740.98
TOTAL			19287.16

TABLA 4.10.

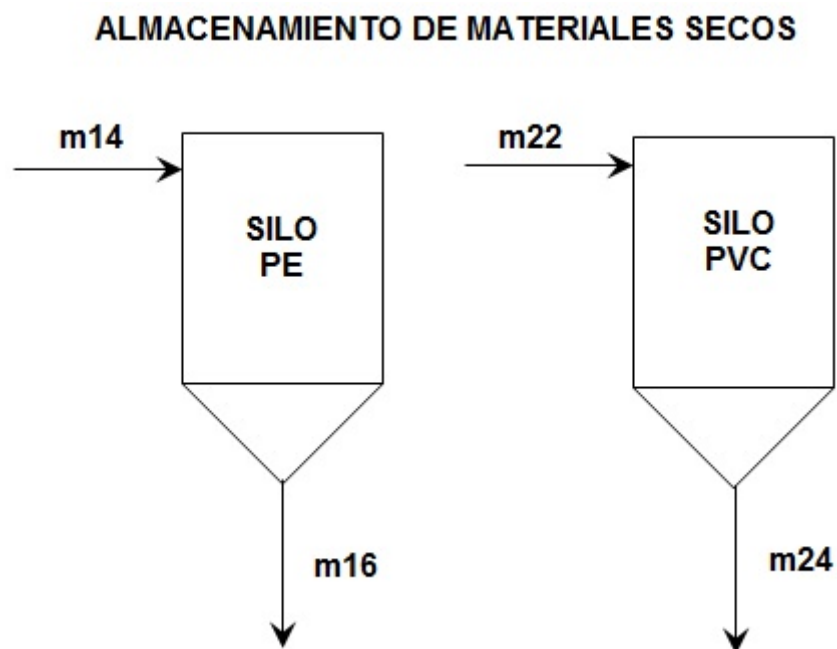
BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE SECADO DEL PVC.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m19	PVC molido, limpio y húmedo	Kg	2862.76
m21	Aire tomado del ambiente (30 °C; 1 atm)		5460.42
TOTAL			8323.18
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m22	PVC seco	Kg	2805.51
m23	Aire saturado de humedad		5517.67
TOTAL			8323.18

4.5.8. ALMACENAMIENTO PREVIO.

En esta operación las entradas son iguales a las salidas pues únicamente se almacenarán en silos la materia prima previo al proceso de extrusión pelletizado.

Figura 4.15. Diagrama de flujo de almacenamientos previos.



Para el silo de PE:

$m14 = m16 = \text{kg/día de mezcla de PE (AD y BD) seco.}$

Para el silo de PVC:

$m22 = m24 = \text{kg/día de PVC seco.}$

Entonces el balance de materia queda reflejado en las siguientes tablas:

TABLA 4.11.

BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE ALMACENAJE POLIETILENOS SECOS.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m14	Mezcla de PE (AD y BD) seco	Kg	6546.18
TOTAL			6546.18
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m16	Mezcla de PE (AD y BD) seco	Kg	6546.18
TOTAL			6546.18

TABLA 4.12.

BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE ALMACENAJE PVC SECO.

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m22	PVC seco	Kg	2805.51
TOTAL			2805.51
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m24	PVC seco	Kg	2805.51
TOTAL			2805.51

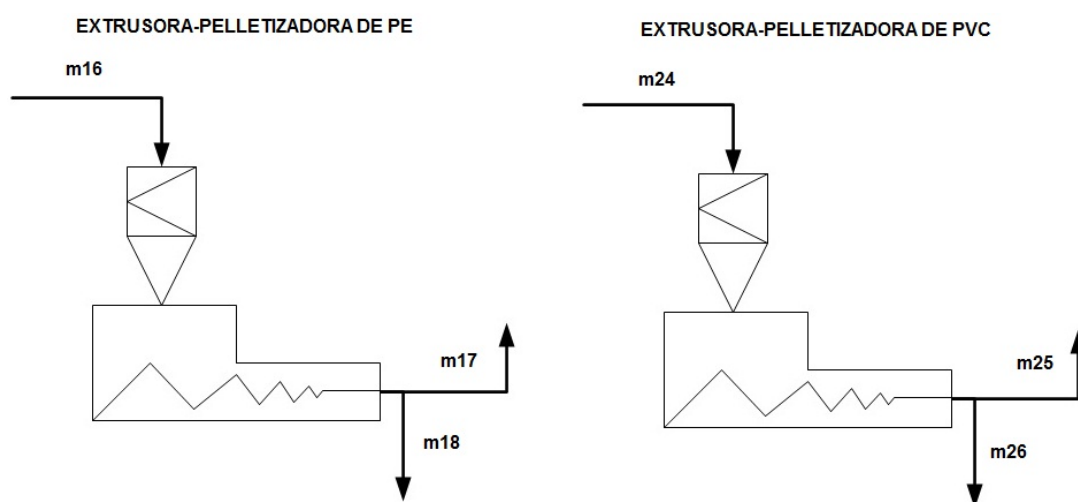
4.5.9. EXTRUSIÓN - PELLETIZADO.

En este proceso es donde se logra la homogeneidad del material, pues la mezcla de polietilenos al pasar por este proceso se convertirá en un polietileno de media densidad, pelletizado.

De la misma manera el PVC, que inicialmente tenía procedencia de varios tipos de PVC (por la materia prima adquirida) se transformara en un PVC homogéneo y con un tamaño de partícula adecuado para procesos posteriores (pellets de PVC).

Cabe mencionar que para los cálculos, se considerará una fracción de material quemado como residuo de la extrusión-pelletización, de aproximadamente un 0,5% del producto final.

Figura 4.16. Diagrama de flujo de la extrusión-pelletización.



Para la extrusora-pelletizadora 1 (Polietileno):

m16 = kg/día de mezcla de PE (AD y BD) seco.

m17 = kg/día de producto (Pellets de PEMD).

m18 = kg/día de residuos quemados de la extrusión.

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_{16} = m_{17} + m_{18}$$

$$m_{18} = 0.005 \cdot m_{16}$$

$$m_{18} = 0.005 \cdot (6546,18 \text{ kg/día})$$

$$m_{18} = 32,73 \text{ kg/día de residuos quemados de PEMD.}$$

$$m_{17} = m_{16} - m_{18}$$

$$\mathbf{m_{17} = 6513,45 \text{ kg/día de producto (Pellets de PEMD).}}$$

Para la extrusora-pelletizadora 2 (PVC):

$$m_{24} = \text{kg/día de PVC seco.}$$

$$m_{25} = \text{kg/día de producto (Pellets de PVC).}$$

$$m_{26} = \text{kg/día de residuos quemados de PVC.}$$

El balance de materia para esta operación es de la siguiente manera:

$$m_{24} = m_{25} + m_{26}$$

$$m_{26} = 0.005 \cdot m_{24}$$

$$m_{26} = 0.005 \cdot (2805,51 \text{ kg/día})$$

$$m_{26} = 14,03 \text{ kg/día de residuos quemados de PVC.}$$

$$m_{25} = m_{24} - m_{26}$$

$$\mathbf{m_{25} = 2791,48 \text{ kg/día de producto (Pellets de PVC).}}$$

A continuación mostramos las tablas donde se reflejan los balances de materia:

TABLA 4.13.**BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE EXTRUSION PELLETIZADO DE PEMD.**

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m16	Mezcla de PE (AD y BD) seco	Kg	6546.18
TOTAL			6546.18
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m17	Producto (Pellets de PEMD)	Kg	6513.45
m18	Residuos quemados de la extrusión		32.73
TOTAL			6546.18

TABLA 4.14.**BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE EXTRUSION PELLETIZADO DEL PVC.**

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m24	PVC seco	Kg	2805.51
TOTAL			2805.51
SALIDAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m25	Producto (Pellets de PVC)	Kg	2791.48
m26	Residuos quemados de la extrusión		14.03
TOTAL			2805.51

4.5.10. ALMACENAMIENTO FINAL.

En la operación de almacenamiento final de los productos (PEMD y PVC) se consideró que solamente existe la entrada al silo respectivo, para su previo despacho para la venta, por lo cual los balances de materia para estos productos quedan reflejados en las siguientes tablas.

TABLA 4.15.**BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE ALMACENAJE FINAL (PELLETS PEMD).**

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m17	Producto (Pellets de PEMD)	Kg	6513.45
TOTAL			6513.45
ACUMULACION			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
-----	Producto (Pellets de PEMD)	Kg	6513.45
TOTAL			6513.45

TABLA 4.16.**BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE ALMACENAJE FINAL (PELLETS DE PVC).**

ENTRADAS			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
m25	Producto (Pellets de PVC)	Kg	2791.48
TOTAL			2791.48
ACUMULACION			
NOMENCLATURA	DESCRIPCION	UNIDADES	CANTIDAD
-----	Producto (Pellets de PVC)	Kg	2791.48
TOTAL			2791.48

CAPITULO V.

5. ANALISIS FINANCIERO.

5.1. INTRODUCCION.

El análisis financiero del proceso de reciclaje de polietilenos y de PVC, será realizado de una forma somera, a grandes rasgos, debido a que esta investigación tiene como alcance, establecer un proceso el proceso de producción de reciclaje de materias primas plásticas (en especial las poliolefinas y el PVC) con una estimación de costos basada en los datos conocidos como son las maquinarias, materias primas, insumos, energía utilizada en las maquinas, suministros, sueldos y salarios, etc.

Para realizar este análisis financiero se utilizó un software, proporcionado por el Ing. Jorge Luis Miranda, Catedrático de la materia Marketing y Ventas del seminario de graduación de la facultad de Ingeniería Química, en donde se reflejan de forma tabulada los costos, los ingresos, egresos y financiamiento.

Las tablas que se mostraran y componen este estudio son:

- Inversión inicial.
- Ingresos.
- Costos.

- Flujo financiero.
- Gastos administrativos.
- Financiamiento
- Depreciación.
- Estado de pérdidas y ganancias.
- Balance general.
- Punto de equilibrio.
- Razones de endeudamiento.

Todos estos cálculos que se reflejarán en las tablas serán proyectados a 5 años.

5.2. INVERSIÓN INICIAL.

Esta inversión corresponde a los desembolsos de recursos financieros que requerirá la planta recicladora para llevar a cabo su propósito.

Consecuentemente, en la inversión inicial estarán contemplados la compra de activos fijos, gastos de constitución y el capital de trabajo.

TABLA 5.1. INVERSION INICIAL.

INVERSIÓN INICIAL						
Concepto	AÑO0	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5
Terrenos						
40000 m2	1.000.000,00					
Total	1.000.000,00	-	-	-	-	-
Edificios e instalaciones						
Muebles y equipos de oficinas	8.000,00					
Instalaciones electricas	40.000,00					
Mantenimiento	2.000,00					
Construcción	1.500.000,00					
Total	1.550.000,00	-	-	-	-	-
Equipos y maquinarias						
Banda transportadora (1)	3.000,00					
Molino de cuchillas	45.000,00					
Lavadora por fricción	30.000,00					
Enjuagadora y separadora	30.000,00					
Centrifuga de malla (2)	12.000,00					
Secadores (2)	20.000,00					
Silos (4)	30.000,00					
Extrusoras-pelletizadoras (2)	150.000,00					
Bombas (4)	1.440,00					
Filtros (4)	1.000,00					
Balanzas (2)	1.200,00					
Transportadores de tornillos (11)	22.000,00					
Total	345.640,00	-	-	-	-	-
Vehiculos						
Camiones HINO 5.5 Ton (2)	40.000,00					
Total	40.000,00					
Otros						
Equipos de computacion	4.000,00					
Total	4.000,00	-	-	-	-	-
Total	2.939.640,00	-	-	-	-	-

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

5.3. INGRESOS.

Estos corresponden a los ingresos por ventas de los productos (pellets de PEMD y pellets de PVC). Se obtienen en la siguiente tabla:

TABLA 5.2. INGRESOS.

INGRESOS					
Productos	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5
Pellets de PEMD. (ton)	2,377.40	2,496.27	2,621.08	2,752.14	2,889.74
Pellets de PVC. (ton)	1,018.89	1,069.83	1,123.33	1,179.49	1,238.47
Total	3,396	3,566	3,744	3,932	4,128
Crecimiento esperado		5%	5%	5%	5%
Precio Unitario (En US\$)					
Pellets de PEMD. (ton)	1,300.00	1,404.00	1,516.32	1,637.63	1,768.64
Pellets de PVC. (ton)	700.00	756.00	816.48	881.80	952.34
Total	2,000.00	2,160.00	2,332.80	2,519.42	2,720.98
Crecimiento esperado		8%	8%	8%	8%
Ingresos (En US\$)					
Pellets de PEMD. (ton)	3,090,620.00	3,504,763.08	3,974,401.33	4,506,971.11	5,110,905.24
Pellets de PVC. (ton)	713,223.00	808,794.88	917,173.40	1,040,074.63	1,179,444.63
Total	3,803,843.00	4,313,557.96	4,891,574.73	5,547,045.74	6,290,349.87
Variación					

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

5.4. COSTOS.

Se han considerado dentro de estos costos aquellos que incurren directamente en los costos del proceso de producción hasta realizar la venta final del producto, como son materia prima, implementos utilizados, etc.

TABLA 5.3. COSTOS.

Productos	COSTOS				
	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5
Cantidades (En Unidades)					
Pellets de PEMD. (ton)	2,377	2,496	2,621	2,752	2,890
Pellets de PVC. (ton)	1,019	1,070	1,123	1,179	1,238
Total	3,396	3,566	3,744	3,932	4,128
Costo Unitario (En US\$)					
Pellets de PEMD. (ton)	350.00	371.00	393.26	416.86	441.87
Pellets de PVC. (ton)	350.00	371.00	393.26	416.86	441.87
Total	0.175	742.00	786.52	833.71	883.73
Crecimiento esperado	6%	6%	6%	6%	6%
Costos (En US\$)					
Pellets de PEMD. (ton)	832,090.00	926,116.17	1,030,767.30	1,147,244.00	1,276,882.57
Pellets de PVC. (ton)	356,611.50	396,908.60	441,759.27	491,678.07	547,237.69
Total	1,188,701.50	1,323,024.77	1,472,526.57	1,638,922.07	1,824,120.26

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.4. GASTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS.

GASTOS ADMINISTRATIVOS & FINANCIEROS					
Descripción	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5
Sueldos	176,712.00	176,712.00	176,712.00	194,383.20	194,383.20
Beneficios	58,314.96	58,314.96	58,314.96	64,146.46	64,146.46
Mano de obra	235,026.96	235,026.96	235,026.96	258,529.66	258,529.66
Luz	159,798.83	159,798.83	159,798.83	175,778.71	175,778.71
Agua	6,022.50	6,022.50	6,022.50	6,624.75	6,624.75
Teléfono	2,160.00	2,160.00	2,160.00	2,376.00	2,376.00
alquiler del local	-	-	-	-	-
Gastos Administrativos	403,008.29	403,008.29	403,008.29	443,309.12	443,309.12
Gastos Financieros	366,871.63	406,517.12	314,914.28	206,466.42	78,075.90
Gastos de Capital	327,006.46	498,134.69	589,737.54	698,185.39	826,575.91
Dividendos	693,878.10	904,651.81	904,651.81	904,651.81	904,651.81
Total Gastos ad & fn	1,096,886.39	1,307,660.10	1,307,660.10	1,347,960.93	1,347,960.93

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.5. FINANCIAMIENTO.

EMPRESA DE RECICLADO DE PEMD y PVC					
INVERSIÓN					
TABLA DE AMORTIZACIÓN					
DEUDA	2.939.640,00				
PLAZO	5	AÑOS			
TASA DE INTERÉS	17,00%	ANUAL			
0					
PERIODO	DESEMBOLSO	CUOTA	INTERESES	AMORTIZACIÓN	SALDO
0	1.175.856	-	-	-	1.175.856
12		75.387,65	37.548,36	37.839,29	2.612.633,54
24		75.387,65	30.590,03	44.797,62	2.114.498,85
36		75.387,65	22.352,12	53.035,53	1.524.761,31
48		75.387,65	12.599,33	62.788,32	826.575,91
60		75.387,65	1.053,07	74.334,58	-

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.6. DEPRECIACIÓN.

DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS FIJOS						
Descripción						
Activos Fijos	Años de Depreciación	Inversión				
Edificios e instalaciones	20 años	1.550.000,00	-	-	-	-
Equipos y maquinarias	10 años	345.640,00	-	-	-	-
Vehículos	5 años	40.000,00	-	-	-	-
Equipos de computación	3 años	4.000,00				
Método de Depreciación: Lineal	% De depreciación	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5
Edificios e instalaciones	5%	77.500,00	77.500,00	77.500,00	77.500,00	77.500,00
Equipos y maquinarias	10%	34.564,00	34.564,00	34.564,00	34.564,00	34.564,00
Vehículos	20%	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Equipos de computación	33%	1.333	1.333	1.333		
Total gastos depreciación		121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

5.5. FLUJO DE CAJA.

El flujo de caja ha sido construido tomando en cuenta los rubros detallados anteriormente y adicional se consideró los siguientes supuestos:

- Gastos constantes en 5 años.
- Producción a la máxima capacidad de la maquinaria.
- Crecimiento constante de la recolección de residuos plásticos (PE y PVC).

TABLA 5.7. BALANCE GENERAL PROYECTADO.

BALANCE GENERAL PROYECTADO					
	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5
Activos Fijos	2.939.640,00	2.818.242,68	2.696.845,36	2.575.448,04	2.455.384,04
Depreciación	121.397	121.397	121.397	120.064	120.064
Activos Fijos	2.818.242,68	2.696.845,36	2.575.448,04	2.455.384,04	2.335.320,04
Activos Circulante	3.803.843,00	4.313.557,96	4.891.574,73	5.547.045,74	6.290.349,87
Total de activos	6.622.085,68	7.010.403,32	7.467.022,77	8.002.429,78	8.625.669,91
Cuentas por pagar	1.188.701,50	1.323.024,77	1.472.526,57	1.638.922,07	1.824.120,26
Pasivo a corto plazo	403.008,29	403.008,29	403.008,29	443.309,12	443.309,12
Pasivo circulante	1.591.709,79	1.726.033,06	1.875.534,86	2.082.231,19	2.267.429,38
Pasivos a largo plazo	693.878,10	904.651,81	904.651,81	904.651,81	904.651,81
Total de Pasivos	2.285.587,89	2.630.684,87	2.780.186,67	2.986.883,00	3.172.081,20
Patrimonio	4.336.497,79	4.379.718,45	4.686.836,10	5.015.546,78	5.453.588,71
Patrimonio+pasivo	6.622.085,68	7.010.403,32	7.467.022,77	8.002.429,78	8.625.669,91

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.8. ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS.

ESTADO DE PERDIDA Y GANANCIAS					
Ventas	3.803.843,00	4.313.557,96	4.891.574,73	5.547.045,74	6.290.349,87
Costo de Ventas	1.188.701,50	1.323.024,77	1.472.526,57	1.638.922,07	1.824.120,26
Utilidad bruta en ventas	2.615.141,50	2.990.533,19	3.419.048,16	3.908.123,67	4.466.229,61
Gastos de ventas	403.008,29	403.008,29	403.008,29	443.309,12	443.309,12
Depreciación	121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00
Utilidad en operación	2.090.735,89	2.466.127,58	2.894.642,55	3.344.750,55	3.902.856,49
Dividendos incluye Gastos financieros	693.878,10	904.651,81	904.651,81	904.651,81	904.651,81
Utilidad neta	1.396.857,79	1.561.475,77	1.989.990,74	2.440.098,74	2.998.204,67

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.9. PUNTO DE EQUILIBRIO.

PUNTO DE EQUILIBRIO	Costos fijos 1-(costos variables ÷ ventas))				
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos (US\$)	3.803.843,00	4.313.557,96	4.891.574,73	5.547.045,74	6.290.349,87
Costos (US\$)	1.188.701,50	1.323.024,77	1.472.526,57	1.638.922,07	1.824.120,26
Gastos Administrativos	403.008,29	403.008,29	403.008,29	443.309,12	443.309,12
Dividendo (incluye Gastos financieros)	693.878,10	904.651,81	904.651,81	904.651,81	904.651,81
Depreciación	121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00
Flujo Operacional	1.396.857,79	1.561.475,77	1.989.990,74	2.440.098,74	2.998.204,67
Depreciación	121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00
Flujo neto	1.518.255,11	1.682.873,09	2.111.388,06	2.560.162,74	3.118.268,67
Costos fijos	1.218.283,71	1.429.057,42	1.429.057,42	1.468.024,93	1.468.024,93
1-(costos variables ÷ ventas))	0,68749985	0,693286892	0,698966764	0,704541454	0,710012908
Punto de equilibrio	1.772.049,41	2.061.278,59	2.044.528,43	2.083.660,12	2.067.603,16

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.10. FLUJO FINANCIERO.

FLUJO FINANCIERO						
Productos	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5	
Ingresos (US\$)						
Pellets de PEMD. (ton)	3.090.620,00	3.504.763,08	3.974.401,33	4.506.971,11	5.110.905,24	
Pellets de PVC. (ton)	713.223,00	808.794,88	917.173,40	1.040.074,63	1.179.444,63	
Total	3.803.843,00	4.313.557,96	4.891.574,73	5.547.045,74	6.290.349,87	
Costos (US\$)						
Pellets de PEMD. (ton)	832.090,00	926.116,17	1.030.767,30	1.147.244,00	1.276.882,57	
Pellets de PVC. (ton)	356.611,50	396.908,60	441.759,27	491.678,07	547.237,69	
Total	1.188.701,50	1.323.024,77	1.472.526,57	1.638.922,07	1.824.120,26	
Margen (US\$)						
Pellets de PEMD. (ton)	2.258.530,00	2.578.646,91	2.943.634,04	3.359.727,11	3.834.022,67	
Pellets de PVC. (ton)	356.611,50	411.886,28	475.414,12	548.396,56	632.206,94	
Total	2.615.141,50	2.990.533,19	3.419.048,16	3.908.123,67	4.466.229,61	
Flujo Financiero						
Ingresos (US\$)	3.803.843,00	4.313.557,96	4.891.574,73	5.547.045,74	6.290.349,87	
Costos (US\$)	1.188.701,50	1.323.024,77	1.472.526,57	1.638.922,07	1.824.120,26	
Gastos Administrativos	403.008,29	403.008,29	403.008,29	443.309,12	443.309,12	
Dividendo (incluye Gastos financieros)	693.878,10	904.651,81	904.651,81	904.651,81	904.651,81	
Depreciación	121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00	
Inversión	2.939.640					
Flujo Operacional	1.396.857,79	1.561.475,77	1.989.990,74	2.440.098,74	2.998.204,67	
Depreciación	121.397,32	121.397,32	121.397,32	120.064,00	120.064,00	
Flujo neto	-2.939.640	1.518.255,11	1.682.873,09	2.111.388,06	2.560.162,74	3.118.268,67

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.11. RAZONES.

Índices de liquidez				
Índice de solvencia	$\frac{\text{Activo circulante}}{\text{Pasivo circulante}}$	$\frac{3.803.843,00}{1.591.709,79}$	=	2,38978426
Capital de trabajo neto	Activo circulante - Pasivo circulante	3.803.843,00 - 1.591.709,79	=	2.212.133,21
Razones de Endeudamiento				
Razón de endeudamiento	$\frac{\text{Pasivo total}}{\text{Activo Total}}$	$\frac{2.285.587,89}{6.622.085,68}$	=	0,34514623
Razones de Rentabilidad				
Margen bruto de utilidad	$\frac{\text{Ventas} - \text{Costo de ventas}}{\text{Ventas}}$	$\frac{3.803.843,00 - 1.188.701,50}{3.803.843,00}$	=	0,68749985
Margen de utilidad en operación	$\frac{\text{Utilidad operativa}}{\text{Ventas}}$	$\frac{2.090.735,89}{3.803.843,00}$	=	0,5496378
Rotación total de activos	$\frac{\text{Ventas Anuales}}{\text{Activos Totales}}$	$\frac{3.803.843,00}{6.622.085,68}$	=	0,57441767
Rendimiento de la Inversión	$\frac{\text{Utilidades Netas}}{\text{Activos Totales}}$	$\frac{1.396.857,79}{6.622.085,68}$	=	0,21093925

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

TABLA 5.12. VAN Y TIR.

Valuación			
Valor Actual Neto	\$3.203.911,18		
Tasa Interna de Retorno	57%		
Tasa de descuento	20,00%		
Período de recuperación			
Inversión	-2.939.640	-1.421.385	261.488
-2.939.640	1.518.255	1.682.873	2.111.388
	-1.421.385	261.488	2.372.876
	1 año	2 años	3 años

Fuente: Programa de costos de Marketing y Ventas.

CAPITULO VI

6. ANALISIS DEL PROYECTO.

6.1. CONCLUSIONES.

En los primeros capítulos, se notó la escasa información en el país y la poca preocupación por parte de las autoridades sectoriales con respecto al el efecto que produce reciclar estos desechos post consumo y post industriales y el beneficio que produce en el cuidado del medio ambiente.

Una clave importante de este proceso productivo se encuentra en el molienda, esta nos genera una materia prima homogénea, para luego ser extruida con un tamaño de partícula homogéneo y por ende un mejor producto final.

La separación de las poliolefinas (PP, PEBD, PEAD) cuando estas se encuentran como un solo flujo producto de la molienda, es técnicamente posible, pero muy difícil, ya que las densidades de todos estas materias primas son similares (0,90 – 0,95 g/cm³)

El producto final (pellets de PEMD y PVC) puede ser reutilizado en diversos procesos de fabricación de productos, siempre y cuando el proceso de reciclaje tenga un buen lavado y desengrasado de la materia prima, con el

fin de que esta no genere olores desagradables al momento de ser procesados por efectos de residuos de materiales orgánicos.

Los resultados obtenidos en esta investigación, nos indican que el proceso de reciclaje de polietilenos y PVC, es completamente viable y factible pues la materia prima que se necesita es adquirida a un muy bajo precio y pueden ser vendidos como producto final a un valor de 5 a 6 veces el costo de la materia prima.

De una manera superficial, podemos decir que la producción de los pellets de PEMD y PVC es económicamente factible, ya que en la simulación del análisis financiero se obtuvo un VAN de \$ 3203911,18 y una TIR de 57 %, con una tasa de descuento del 20%, lo que nos indica que la inversión se recuperaría en el segundo año del proyecto.

6.2. RECOMENDACIONES.

Se recomienda efectuar un lavado con una solución detergente y desengrasante que elimine todos los residuos orgánicos, sobre todo de la materia prima que proviene de los desechos post consumo, ya que en esta operación se encuentra la clave para el uso de los pellets de material reciclado mezclados con materias primas vírgenes.

Es recomendable tener una planta recicladora para cada ciudad, sobre todo las mas grandes debido a la gran cantidad de desechos plásticos que existen en el medio y no son reciclados.

Se deberían realizar fuertes campañas sobre el reciclaje, donde se involucren a personal de escuelas, colegios, universidades y en nuestros hogares, para de esta forma poder clasificar organizados los desechos y así ser más efectivos en obtención de estos termoplásticos del mismo tipo.

ANEXO 1

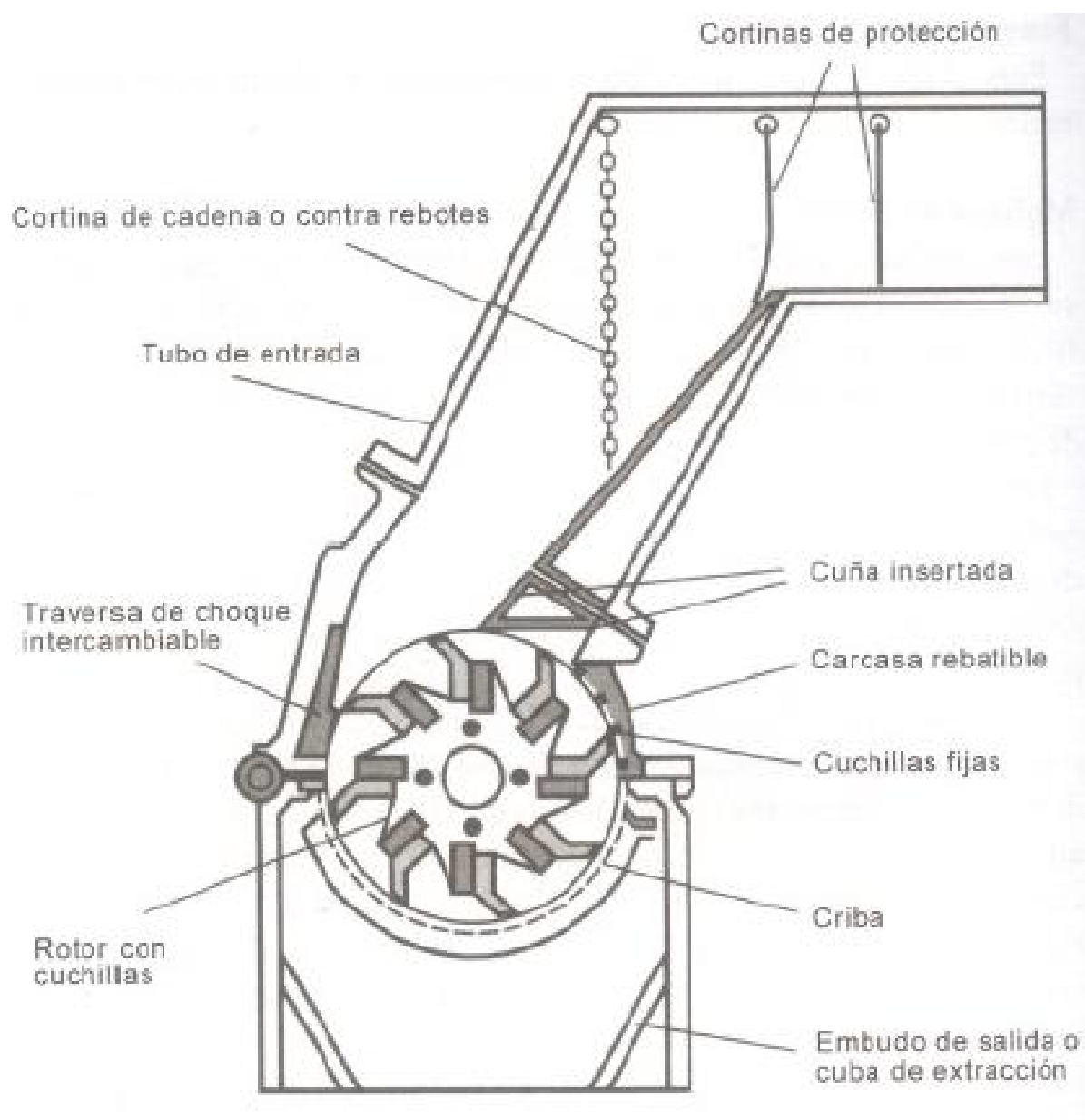
COMPATIBILIDAD Y CAPACIDAD DE MEZCLA DE LOS PLASTICOS

Capacidad de mezcla 1 Muy buena capacidad de mezcla 6 incompatible	Poliestireno estándar	Poliestireno de alto impacto	Copolímero de estireno-acrilonitrilo	ABS	Poliamida	Policarbonato	Polimetacrilato de metilo	Polioximetileno	Policloruro de vinilo	Polipropileno	Poliétileno de baja densidad	Poliétileno de alta densidad	Politereftalato de butileno	Politereftalato de etileno
Poliestireno estándar		1	6	6	5	6	4	6	6	6	6	6	6	5
Poliestireno de alto impacto	1		6	6	4	5	4	6	6	6	6	6	6	5
Copolímero de estireno-acrilonitrilo	6	6		1	6	2	1	6	2	6	6	6	6	6
ABS	6	6	1		6	2	1	5	3	6	6	6	5	5
Poliamida	5	4	6	6		6	6	6	6	6	6	6	5	5
Policarbonato	6	5	2	2	6		1	6	5	6	6	6	1	1
Polimetacrilato de metilo	4	4	1	1	6	1		5	1	6	6	6	6	6
Polioximetileno	6	6	6	5	6	6	5		6	6	6	6	6	6
Policloruro de vinilo	6	6	2	3	6	5	1	6		6	6	6	6	6
Polipropileno	6	6	6	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6
Poliétileno de baja densidad	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		1	6	6
Poliétileno de alta densidad	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1		6	6
Politereftalato de butileno	6	6	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6		6
Politereftalato de etileno	5	5	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6	6	

Fuente: Reciclaje de Plásticos. Jungbauer, 1era Edición, Año 2004

ANEXO II

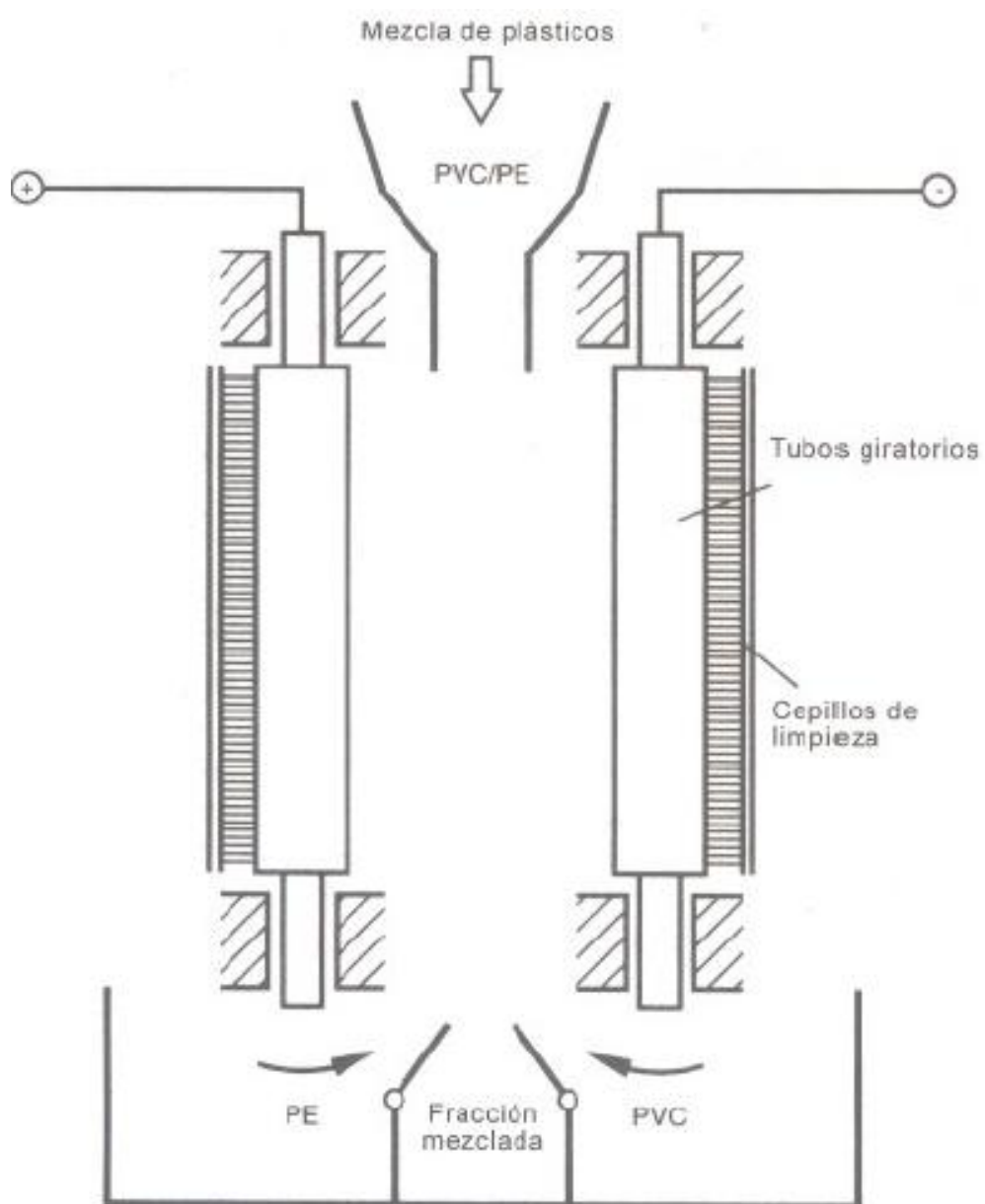
ESQUEMA DE MOLINO DE CUCHILLAS



Fuente: Reciclaje de Plásticos. Jungbauer, 1era Edición, Año 2004

ANEXO III

SEPARADOR ELECTROESTATICO



Fuente: Reciclaje de Plásticos. Jungbauer, 1era Edición, Año 2004

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

{1} GUERRA MENDEZ NICOLAS, “Estudio de las Propiedades Mecánicas y Reológicas del Polietileno de Alta Densidad y Antioxidante en Base de Fosfitos Durante Cinco Ciclos de Inyección”. ESPOL, 2009.

{2} BRAVO COLLAHUAZO FERNANDO, “Evaluación de propiedades reológicas y mecánicas de polietilenos reciclados en la ciudad de Guayaquil” ESPOL 2009.

ANTON JUNGBAUER, Reciclaje de Plásticos. 1era Edición, Año 2004.

HERBERT F. LUND, Manual McGRAW-HILL de reciclaje, Volumen I,

www.elplastico.com. Reciclaje de PVC.

www.directindustry.com. Equipos para reciclaje de plásticos.

Policloruro de vinilo - Wikipedia, la enciclopedia libre;
http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro_de_vinilo[06/02/2012 8:06:38]