

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL ÁCIDO TEREFTÁLICO Y EL ETILENGLICOL A PARTIR DEL PET RECICLADO”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

JOHANNA MORALES PALOMINO

LIMA – PERÚ

2010

INDICE

I.- INTRODUCCION	1
II.-RECICLAJE: CONCEPTOS TEORICOS	2
1. Tipos de reciclaje de plásticos	2
1.1.- Reciclaje físico	2
1.2.- Reciclaje químico	2
1.3.- Reciclaje térmico	3
2. Naturaleza de PET	3
3. Insumos químicos involucrados	8
4. Productos obtenidos en el proceso de hidrólisis	9
5. Principales procesos de degradación del PET	11
III.- RECICLAJE QUIMICO DEL PET	13
1. Tecnologías existentes para el reciclaje químico del PET.	13
a. Tecnología con aplicación de metanólisis	13
b. Tecnología con aplicación de hidrólisis	16
c. Tecnología con aplicación de glicólisis	17
2. Comparación de tecnologías	21
3. Degradación Química del PET usando la Tecnología de Hidrólisis	21
3.1.- Materia prima	22
3.2.- Productos principales	22
3.3.- Descripción de la tecnología	22
3.4.- Seguridad industrial para el proceso	29
3.5.- Medio ambiente	30

IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
V.- BIBLIOGRAFIA	32
VI.- ANEXOS	34
Anexo 1.- Glosario de Términos	34
Anexo 2.- Abreviaturas	35
Anexo 3.- Propiedades físicas y químicas	36

I.- INTRODUCCION

Las grandes cantidades de residuos de Tereftalato de Polietileno que se desechan sólo en Lima diariamente son realmente significativas, como para tomar en cuenta el reciclaje a gran escala.

El Tereftalato de Polietileno (PET), nombre con el cual es muy conocido a través del tiempo, con un consumo nacional que se ha tornado atractivo para los importadores; en el año 2005 se importó una cantidad total de 884 014,21 kilogramos, con gran tendencia al crecimiento, en el año 2008 la cantidad nacional importada fue de 1 800 636,33 kilogramos.

En los últimos años el consumo de PET se ha incrementado significativamente en el mercado nacional, por lo que se describe un proceso en el cual se puede recuperar los componentes básicos de su fabricación a partir de las botellas recicladas, lo cual permitirá cubrir la gran demanda existente en el mercado nacional de PET virgen, así como también desarrollar otras industrias que se desarrollan a partir de sus componentes.

En la actualidad el tema de reciclaje, no es nuevo, e incluso el término “reciclaje químico”, no es desconocido.

Existen tecnologías que permiten obtener los componentes químicos del PET a partir de materia prima reciclada. Cada tecnología aborda de manera diferente el proceso de obtención, aportando cada una de ellas una alternativa para el reciclaje químico del PET.

El presente informe trata del desarrollo de un proceso de recuperación de los componentes químicos del PET, como son el Acido Tereftálico y el Etilenglicol, materias primas para la producción de PET virgen, basado en una de las tecnologías que se describirán, esperando que se pueda contribuir en la difusión de los procesos y promoción del reciclaje químico.

II.- RECICLAJE: CONCEPTOS TEORICOS

1.- Tipos de Reciclaje de plásticos

1.1. Reciclaje Físico.

El reciclaje físico comprende el cambio de tamaño y forma de los materiales, la eliminación de contaminantes, la mezcla de aditivos si se desean, y otras actividades similares que cambian la apariencia del material reciclado, pero que no alteran su estructura química fundamental, o al menos no lo hacen en un grado elevado. En esta categoría por ejemplo, los métodos usuales de procesamiento para los recipientes de plástico comprenden el triturado, la clasificación mediante corrientes de aire para eliminar contaminantes ligeros, el lavado, un sistema basado en la gravedad para separar componentes más pesados que el agua, de aquellos que no lo son, el tamizado, el enjuagado y con frecuencia la fusión y la formación de gránulos gruesos, posiblemente con adición de colorantes, estabilizadores al calor y otros ingredientes. La gran mayoría de las operaciones de reciclaje de plásticos que se usan en la actualidad incluyen un reciclaje físico.

1.2. Reciclaje químico.

El reciclaje químico comprende la ruptura de la estructura molecular del polímero por medio de reacciones químicas. Los productos de la reacción deben purificarse para lograr producir el mismo polímero u otro relacionado con él. Entre uno de esos métodos tenemos al proceso de glicólisis que se usa algunas veces para reciclar PET, proceso en el cual las cadenas del polímero se rompen hasta llegar a sus monómeros, los cuales se cristalizan y repolimerizan. Los polímeros de condensación entre los cuales están el PET, nylon y poliuretano, son normalmente más fáciles de reciclar por medios químicos que los

polímeros de adición, como las poliolefinas, el poliestireno y el PVC. La mayor parte de los procesos comerciales de depolimerización y repolimerización están referidos a un sólo polímero, el cual es, usualmente PET, nylon 6 o poliuretano.

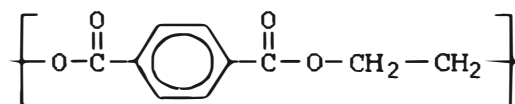
1.3. Reciclaje térmico.

El reciclaje térmico también incluye la ruptura de la estructura química del polímero. En este caso, en lugar de reactivos químicos, el principal medio para la reacción es el calor.

El reciclaje térmico se puede aplicar a todos los tipos de polímeros; sin embargo, el producto característico es una mezcla completa de productos, aun cuando se haya partido de una sola resina polimérica. Si se recuperan compuestos razonablemente puros, se pueden emplear como materia prima para nuevos materiales. Cuando los productos son una mezcla compleja que no es fácil separar, lo más frecuente es usar esa mezcla como combustible. Hay pocas operaciones comerciales que emplean el reciclaje térmico de los plásticos, sin embargo se sigue investigando.

2.- Naturaleza del PET

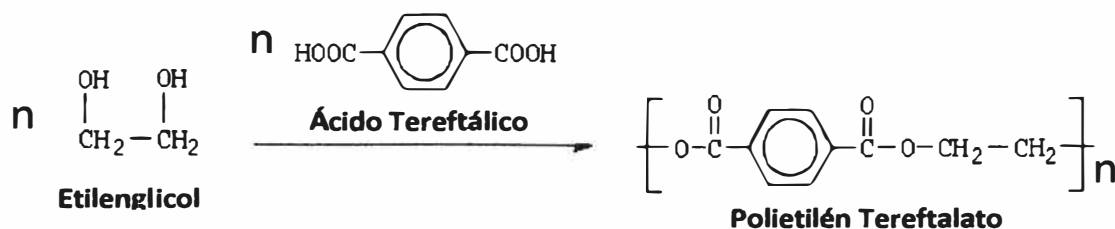
Es un plástico que pertenece al grupo de los materiales sintéticos de la familia de los poliésteres. Es muy usado en envases de bebidas y textiles, entre otros usos.



**Polietilén tereftalato
(monómero)**

Es un polímero termoplástico, de estructura lineal, con un alto grado de cristalinidad, y que puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado .

El PET es un polímero de condensación, formado a partir del ácido tereftálico y el etilenglicol mediante poli condensación:



El PET puede ser depolimerizado a través de metanólisis, hidrólisis, glicólisis, y saponificación. Dichos procesos someten al PET a una reacción química que lo reduce a sus monómeros o a sus materias primas originales.

Propiedades: En la tabla 1, se encuentran las propiedades importantes del Tereftalato de polietileno (PET).

Tabla 1.- Propiedades del PET

Propiedades	Método de prueba ASTM	Sin relleno	Reforzado 15% de fibra de vidrio	Reforzado 30% de fibra de vidrio	Reciclado, contenido 30% de fibras de vidrio	Reciclado contenido 45% de fibra de vidrio	Reciclad o sin relleno
Temperatura de fusión. °C Cristalino		212-265		245-265			81-91
Temperatura de fusión. °C Amorfo		68-80					
Relación de compresión		3.1	2-3	2-3	2-3	2-3	2.4-3
Resistencia a la tensión en la ruptura (.lb/in ²)	D638	7000-10500	14600	20000-24000	24000	28500	4100
Alargamiento a la ruptura %	D638	30-300	2	2-7	2	2	110
Resistencia a la tensión en la fluencia (lb/in ²)	D638	8600		23000			7300
Resistencia a la flexión (ruptura o fluencia) lb/in ²	D790	12000-18000	20000	30000-36000	35500	45000	10200
Conductividad térmica	C177	3.3-3.6		6.0-7.6			
Gravedad específica	D792	1.29-1.40	1.33	1.55-1.70	1.58	1.7	1.27

Cuadro 1.- Resistencia Química del PET

Alcoholes	
Metanol	muy resistente
Etanol	muy resistente
Isopropanol	Resistente
Ciclohexanol	muy resistente
Glicol	muy resistente
Glicerina	muy resistente
Alcohol bencílico	Resistente
Aldehidos	
Acetaldehído	muy resistente
Formaldehído	muy resistente
Carbonos	
Tetracloruro de carbono	muy resistente
Cloroformo	Resistente
Difenil clorado	muy resistente
Tricloro etileno	muy resistente
Disolventes	
Eter	muy resistente
Acetona	no resistente
Nitrobenceno	no resistente
Fenol	no resistente
Ácidos	
Acido formica	muy resistente
Acido acético	muy resistente
Acido Clorhídrico 10 %	Resistente
Acido Clorhídrico 30 %	Resistente
Acido Fluorhídrico 10 y 35 %	muy resistente
Acido Nítrico 10 %	muy resistente
Acido Nítrico 65 y 100 %	no resistente
Acido fosfórico 30 y 85 %	muy resistente
Acido sulfúrico 20%	Resistente
Acido sulfúrico 80 % o más	no resistente
Anhídrido sulfuroso seco	muy resistente
Soluciones acuosas alcalinas	
Hidróxido amónico	no resistente
Hidróxido cálcico	Resistente
Hidróxido sódico	no resistente

Sales (soluciones)	
Dicromato	muy resistente
Carbonatos alcalinos	muy resistente
Cianuros	muy resistente
Fluoruros	muy resistente
Sustancias varias	
Cloro	muy resistente
Agua	muy resistente
Peróxido de hidrógeno	muy resistente
Oxígeno	muy resistente

El PET es resistente a multitud de agentes químicos agresivos los cuales no son soportados por otros materiales.

Aplicaciones:

Las aplicaciones del PET son muy amplias, las podemos ver en el cuadro 1.

Cuadro 2.- Aplicaciones del PET

Como envases	Como películas	Otros Usos
-Bebidas carbonatadas	-Contenedores alimentarios	-Fibras textiles
-Aguas minerales	-Cinta de audio/video	+alfombras
-Aceite	-Fotografía	+ropas, ropa de cama
-Detergentes y productos de limpieza.	-Aplicaciones eléctricas	+telas para decoración
-Perfumería y cosméticos	-Electrónica	+cortinas
-Productos químicos y lubricantes	-Embalajes especiales	+tapicería
	-De rayos X	-Perfiles
	-Bandejas para microondas.	-Marcos
		-Paredes
		-Construcción
		-Piezas inyectables

Hoy en día, el mercado de las fibras es todavía el más importante para el PET recuperado.

Clasificación:

El PET existe como polímero amorfo (transparente) y el semi-cristalino (opaco), es clasificado como material termoplástico reciclable. El PET tiene resistencia generalmente a las grasas minerales, solventes y ácidos, pero no a las bases.

El PET semi-cristalino tiene buena resistencia, buena rigidez y dureza, es dúctil, mientras que el PET amorfo tiene mejor ductibilidad o capacidad de termo deformación, con una menor rigidez y dureza.

Se puede distinguir dos tipos fundamentales de PET, el de grado textil y el de grado botella. Para el grado botella se le debe dar un proceso adicional de condensación, existiendo diversos colores para estos usos.

El PET tiene buenas propiedades de barrera al oxígeno y dióxido de carbono, y es por ello que es utilizado en botellas para gaseosas.

Demanda en el mercado: La tabla 2 de importaciones al Perú, ilustra el acelerado crecimiento en la demanda de PET.

Tabla 2.- Importaciones de PET en el Perú

Partida arancelaria: 3920.62.00.00 de politereftalato de etileno (PET)				
AÑO	Valor FOB(US\$)	Valor CIF(US\$)	Peso Neto(Kg)	Peso Bruto(Kg)
2000	759.003,02	833.728,26	278.758,04	334.121,02
2001	1.265.153,78	1.419.117,31	463.638,29	545.437,00
2002	1.405.234,79	1.553.798,38	587.963,67	676.143,50
2003	1.395.038,48	1.505.360,31	534.692,87	616.361,87
2004	2.095.596,27	2.290.239,58	773.946,97	869.444,28
2005	2.092.134,58	2.289.553,73	790.063,54	884.014,21
2006	2.564.750,76	2.784.807,86	1.030.051,42	1.156.169,55
2007	3.365.789,36	3.688.867,93	1.477.769,27	1.665.177,45
2008	4.302.904,76	4.705.015,89	1.656.434,27	1.830.636,33

Fuente: www.aduanet.gob.pe

En el año 2007 y 2008 el incremento en la demanda de PET ha tenido un notable incremento lo cual lo convierte en un producto atractivo a la inversión, ya sea como material virgen o reciclado.

3.- Insumos químicos involucrados

A continuación se describe los principales insumos empleados para el proceso de hidrólisis del presente informe:

Amoniaco acuoso.- También conocido como agua de amoniaco o amoniaco acuoso. El agua de amoniaco se encuentra comúnmente en soluciones de limpieza doméstica.

Aplicaciones: La mayor parte es producida para fabricar abonos y para su aplicación directa como abono. También es usada en textiles, plásticos, explosivos y como refrigerante. Se emplea para lograr un producto de alta pureza mediante la regulación del pH.

Acido inorgánico.- Se requiere un ácido inorgánico fuerte por lo que se puede elegir al ácido clorhídrico, al ácido fosfórico y al ácido sulfúrico. Para la tecnología presente se usa ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico puro, de fórmula H_2SO_4 , a temperatura ambiente es un líquido incoloro, inodoro, muy corrosivo y de gran viscosidad, es el ácido mineral de mayor uso en la industria.

Aplicaciones: Entre las diversas aplicaciones del ácido sulfúrico, se tiene la producción de fertilizantes, detergentes, en el tratamiento de calderas, decapado de metales, entre otros.

Hidróxido de Calcio.- Es también conocido como cal apagada, es un hidróxido caustico de fórmula $Ca(OH)_2$. Es un cristal incoloro o polvo blanco, obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua.

Aplicaciones: Entre sus principales usos: se emplea como floculante en el tratamiento de aguas residuales; en el procesamiento de aguas para bebidas alcohólicas y carbonatadas, como ingrediente para hacer yeso, en mezclas de pesticidas, en la manufactura de aditivos para el petróleo crudo, en medicina como uso odontológico.

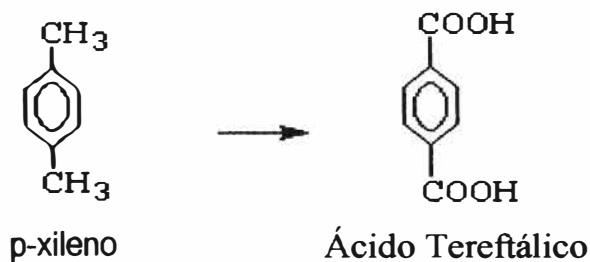
4.- Productos obtenidos en el proceso de hidrólisis

En el proceso, los productos obtenidos son:

a.- Ácido Tereftálico

Es la materia prima para fibras de poliéster como **Dacron** o **Teryleno** y para la resina de moldeo **tereftalato de polibutileno**.

Se produce por oxidación del paraxileno el que se obtiene del petróleo crudo.



Propiedades físicas y químicas del Ácido Tereftálico.- La tabla 3 nos muestra propiedades importantes del Ácido Tereftálico.

Tabla 3.- Propiedades físicas y químicas del Ácido Tereftálico

Nombre IUPAC	Ácido 1,4-benzenodicarboxílico
Masa molecular	166.1 g/mol
Fórmula molecular	C ₈ H ₆ O ₄
Apariencia	Polvo cristalino blanco
Punto de sublimación	402°C
Densidad relativa (agua =1)	1,51
Solubilidad en agua g/100ml a 20°C	0,28
Punto de inflamación	260°C
Temperatura de auto-ignición	496°C

Aplicación: Tiene como principal aplicación ser la base de fabricación del PET.

b.- Etilenglicol: (1,2-Etanodiol, glicol de etileno, 1,2-dioxietano, glicol).

Es un compuesto químico que pertenece al grupo de los glicoles. El etilenglicol es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor. El etilenglicol es inodoro pero tiene un sabor dulce, es viscoso y soluble en agua y en muchos componentes orgánicos. Se fabrica a partir de la hidratación del óxido de etileno.

Propiedades físicas y químicas del Etilenglicol.- La tabla 4 nos muestra propiedades importantes del Etilenglicol

Tabla 4.- Propiedades físicas y químicas del Etilenglicol

Nombre IUPAC	1,2- Etanodiol
Fórmula molecular	C ₂ H ₆ O ₂
Punto de fusión	-12,9°C
Punto de ebullición	197,3°C
Apariencia	Incoloro
Masa molecular	62.068g/mol
Solubilidad en agua	Miscible
Densidad	1,1155 g/cm ³
Índice de refracción	1,4318 a 20 °C

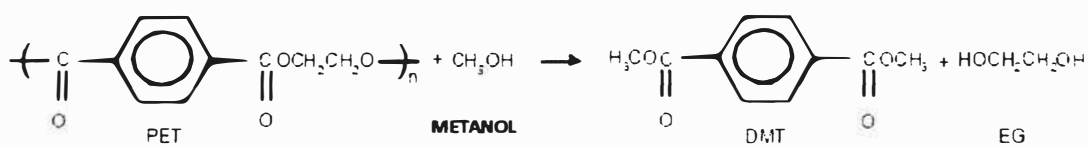
Aplicaciones: tiene aplicación como diol para la obtención de poliésteres, siendo el más importante el PET, entre otras mas es usado como anticongelante en el circuito de refrigeración de motores de combustión interna, como fluido para frenos hidráulicos, como disolvente en la industria de la pintura y el plástico, es también usado como ingrediente líquido para revelar fotografías.

5.- Principales procesos de degradación del PET

Se muestran las reacciones de los procesos más conocidos, para la degradación del PET y obtención de componentes básicos:

a.- Metanólisis

En este proceso se degrada el PET con metanol a altas presiones y temperaturas, lográndose así la formación de dimetiltereftalato y etilenglicol:



III.- RECICLAJE QUIMICO DEL PET

1.- Tecnologías existentes para el reciclaje químico del PET

a.-Tecnología con aplicación de metanólisis

La depolimerización del PET a través de la metanólisis se lleva a cabo por medio del tratamiento del polímero con altas cantidades de metanol (relaciones de 1:4) en presencia de un catalizador de transesterificación, a altas presiones (20-25 kg/cm³) y un rango de temperatura (160 - 300°C), por un tiempo de 3 a 5 horas. Se usan catalizadores de acetato de zinc, acetato de magnesio o acetato de cobalto, siendo el mas usado el acetato de zinc. Este proceso incluye un alto número de operaciones unitarias, como la filtración (en centrífuga), cristalización multietapa, destilación al vacío, etc. En el proceso de la metanólisis se obtiene un producto de DMT de muy buena calidad y los resultados son bastante consistentes. Este proceso también puede ser usado para PET coloreado y con contenidos de otros polímeros contaminantes (PE, PVC, polímeros termoestables).

A continuación describiremos una tecnología de reciclaje de PET con aplicación de metanólisis

Descripción de una tecnología con aplicación de metanólisis

El proceso puede tratar plásticos con niveles de contaminantes muchos mayores que los aceptados en el reciclado mecánico como material reciclable. Cualquier PET que contenga metales, tintes u otros materiales que interferirían en el reciclado químico, pueden ser separados.

La reacción se lleva a cabo a escala industrial en un reactor de metanólisis a 260-300°C (que además son temperaturas por encima del punto de ebullición del PET), y una presión de 340-650 kPa. (3.5-6.5atm)

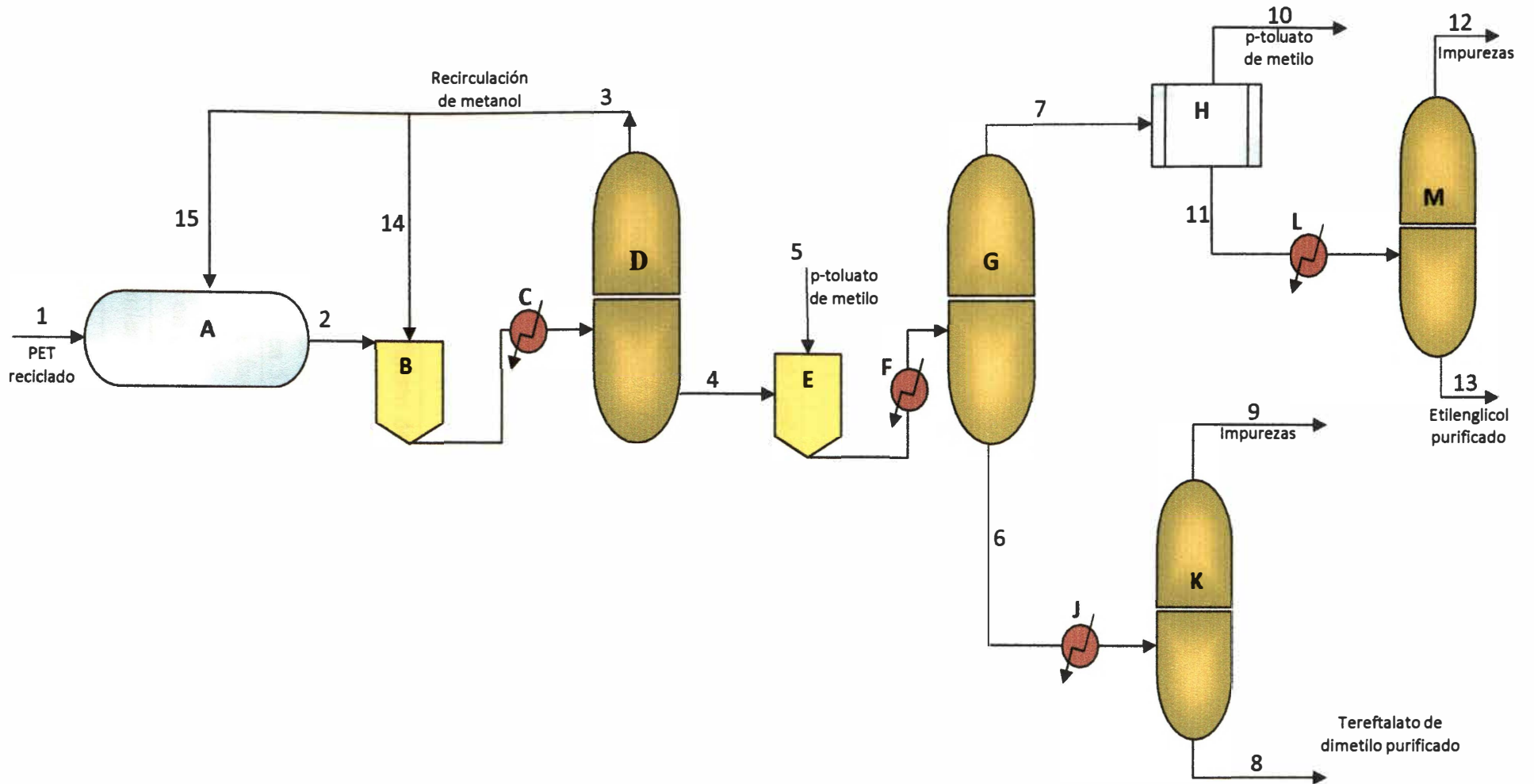
En el reactor de metanólisis, se producen el Tereftalato de Dimetilo y el etilenglicol, mezclados con un exceso de metanol se pasan a través de una columna de eliminación de metanol. El metanol eliminado de esta manera se recircula en el proceso. El Tereftalato de Dimetilo y Etilenglicol forman un azeótropo que impide su separación por destilación. Para conseguir la separación del azeótropo antes mencionado, se añaden p-toluato de metilo (MPT) en este punto del proceso. Con ello se forma un azeótropo de p-toluato de metilo y etilenglicol, que permite la separación del Tereftalato de Dimetilo de los otros dos componentes por medio de destilación. El destilado de p-toluato de metilo/etilenglicol obtenido por los topes de la etapa anterior forma una solución de dos capas. La superior está enriquecida con p-toluato de metilo y puede recircularse en el proceso, la inferior enriquecida con etilenglicol es purificada con una destilación fraccionada, de igual manera el Tereftalato de Dimetilo sigue una destilación fraccionada para aumentar su pureza.

La reacción de despolimerización, produce Tereftalato de Dimetilo y etilenglicol. La enorme ventaja de esto es que se reproducen monómeros que también son empleados como material de partida en la reacción de polimerización. Por ello, no existen límites en los usos del PET hecho a partir de ellos. Esto supone una reducción en la dependencia de los productos petroquímicos para la producción.

La figura 1, ilustra mejor el proceso descrito.

FIGURA N°1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE METANOLISIS



Descripción de líneas y equipos en el proceso de metanólisis

A	Reactor de metanólisis
B	Tanque de mezcla
C	Pre-calentador
D	Despojador de metanol / columna de destilación
E	Tanque de mezcla / separador de la 1ra mezcla azeotrópica
F	Pre-calentador
G	Separador de la 2da mezcla azeotrópica / columna de destilación
J	Pre-calentador
K	Purificador de Tereftalato de Dimetilo / columna de destilación
H	Tanque de separación de fases
L	Pre-calentador
M	Purificador de Etilenglicol / columna de destilación
1	Línea de alimentación de PET reciclado
2	Línea de productos de reacción de metanólisis
3	Línea de metanol recuperado por destilación
4	Línea de azeótropo Tereftalato de Dimetilo / Etilenglicol
5	Línea de alimentación de p-toluato de metilo
6	Línea de salida de Tereftalato de dimetilo impuro
7	Línea de salida del azeótropo Etilenglicol / p-toluato de metilo
8	Línea de salida de Tereftalato de dimetilo purificado
9	Línea de impurezas en la rectificación de Tereftalato de dimetilo
10	Línea de salida de la fase superior rica en p-toluato de metilo que será recirculada a la línea 5
11	Línea de salida de la fase inferior rica en etilenglicol para recuperar
12	Línea de impurezas en la rectificación de etilenglicol
13	Línea de salida de etilenglicol purificado
14	Línea de recirculación de metanol al tanque de mezcla B
15	Línea de recirculación de metanol al reactor de metanólisis A

b.- Tecnología con aplicación de hidrólisis

La hidrólisis del PET produce Ácido Tereftálico puro y Etilenglicol para su posterior reutilización en la producción de polímero virgen. El proceso de hidrólisis es clasificado en tres categorías diferentes, así: hidrólisis neutra con agua o vapor, hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina o saponificación.

Hidrólisis neutra.

Es llevada a cabo con agua o vapor a altas presiones, para obtener Ácido Tereftálico puro. El rango de temperatura de la reacción va desde 180°C (cerca del punto de fusión del PET) hasta 275°C (estado líquido). Los rangos típicos para la reacción de hidrólisis presurizada son de 180 a 220°C en exceso de agua, con una relación en peso PET-agua de 1:6 a 1:12 y presiones de 1 a 4 Mpa. El tiempo de reacción es de aproximadamente 5 a 6 horas.

Hidrólisis ácida.

La hidrólisis ácida del PET implica el uso de un ácido inorgánico fuerte, como el ácido nítrico o ácido sulfúrico, para depolimerizar el PET en un pH de 2 a 6. El producto de la reacción es, entre otros, el Ácido Tereftálico crudo, que se debe purificar por medio de la formación de su sal. Comúnmente en esta reacción se usa el ácido sulfúrico, con una concentración no menor al 87% en peso, para llevar a cabo el proceso en tiempos cortos (menores a 1 h) a bajas temperaturas de 85-95°C, menores a 100°C y presión atmosférica. El uso de ácido sulfúrico diluido (menor al 67% en peso) necesita temperaturas de reacción más altas (cerca de 150°C) y altas presiones. La misión principal del ácido sulfúrico es la de precipitar el ácido tereftálico.

La reacción procede lentamente, puede tomar entre 3 y 6 horas, dependiendo de la temperatura.

Hidrólisis alcalina.

Este proceso es llevado a cabo con el uso de una solución acuosa de hidróxido de sodio, hidróxido de potasio o con una solución acuosa de amoníaco, con una concentración del 4 al 20%, a una temperatura entre 180 y 250°C bajo presiones de 1,4 a 2 Mpa. Para lograr mejores resultados usar temperaturas cercanas a la temperatura de fusión del polímero.

El hidróxido de amonio es más costoso que los hidróxidos metálicos alcalinos usados convencionalmente, pero tiene la ventaja de mantener un pH de reacción por debajo de un nivel que impide atacar las impurezas, pudiendo así ser separadas con mayor facilidad, además que nos evita un control costoso y riguroso de pH. Se puede recuperar el hidróxido de amonio mediante una recirculación, reduciendo así su costo en el proceso.

c.- Tecnología con aplicación de glicólisis

Cuando el PET es disuelto en exceso de Etilenglicol a altas temperaturas, la reacción de condensación es invertida, esto es lo que se conoce como glicólisis. Los productos de dicha reacción son el bis-hidroxi-etil-tereftalato (BHET) y algunos oligómeros de bajo peso molecular. El BHET se usa en la poliesterificación del PET, la cual es la etapa previa para la policondensación del PET nuevamente. La reacción de glicólisis es catalizada por acetatos de Zn, Mn, Co, Pb, etc. El proceso de depolimerización se lleva a cabo a 190°C, con una relación molar EG/PET de 2 a 6, en un tiempo de aproximadamente 8 horas. Esta reacción es acelerada a altas presiones.

Descripción de una tecnología con aplicación de glicólisis

El procedimiento comprende hacer reaccionar el PET con etilenglicol, para producir bis-hidroxi-etil-tereftalato (BHET) y purificarlo.

En la primera etapa del procedimiento, se mezclan el PET y el etilenglicol en una relación en moles de etilenglicol a componente de ácido dicarboxílico en el PET entre 1,1 y 10, recomendable entre 2 y 6. La reacción se efectúa entre 150 y 300°C, recomendable entre 180 y 240°C. El tiempo de reacción debe ser suficiente para producir BHET, usualmente entre 10 minutos y 4 horas. La reacción puede llevarse a cabo discontinua o continuamente. Aunque el PET reciclado puede contener catalizadores que pueden ser adecuados para producir una mezcla oligomérica a una aceptable velocidad. Se pueden añadir catalizadores de trans-esterificación conocidos en la técnica tales como las sales de Zn, Sb, Ti, para incrementar la velocidad. Después de la reacción, la mezcla es filtrada para retirar el material insoluble.

Opcionalmente, el exceso de etilenglicol se puede retirar del producto de reacción, de preferencia a temperaturas por debajo de 200°C para evitar la polimerización. El etilenglicol separado se puede recircular al reactor de glicólisis o retirar del procedimiento. Previamente a la evaporación del etilenglicol o del monómero, puede ser deseable la adición de un compuesto de fósforo o un inhibidor de polimerización.

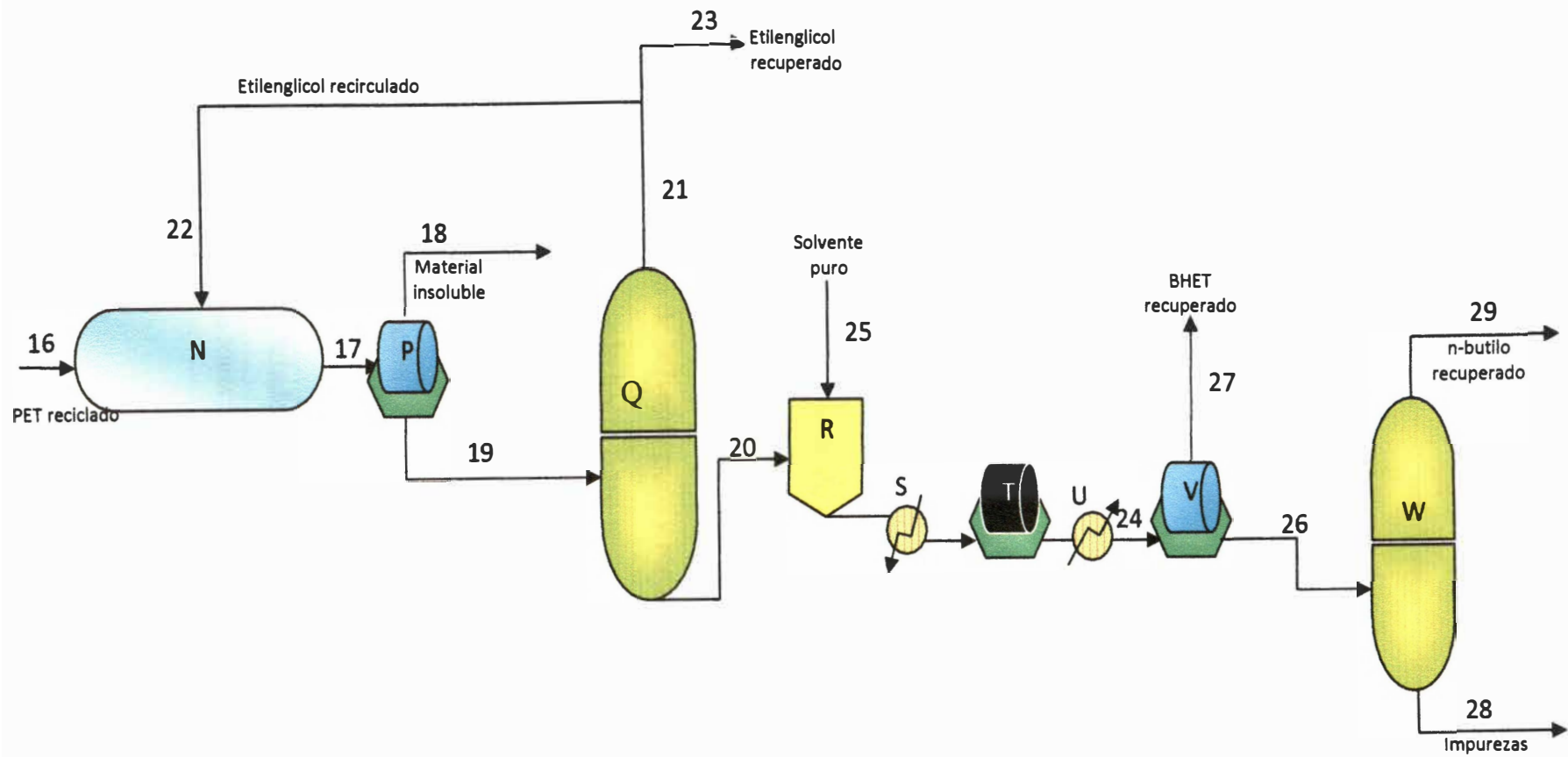
La segunda etapa del procedimiento, que se puede llevar a cabo continua o discontinuamente, comprende disolver el producto de la primera etapa en 0,5 a 20 partes en peso de un disolvente caliente seleccionado de alcoholes, ésteres, nitrilos, hidrocarburos clorados, hidrocarburos aromáticos, o cetonas, se usa n-butilo y se calienta la mezcla a 90°C. Opcionalmente, la disolución caliente se pone en contacto discontinuamente con 0,0001 a 2 partes de un adsorbente por parte de producto de la etapa 1. Los absorbentes preferidos incluyen carbón activado, arcilla activada, sílice y alúmina o sus mezclas, se usa el carbón activado.

La disolución caliente se filtra para retirar impurezas insolubles tales como pigmentos usados en PET coloreado. El filtro debe retirar material más grande de 50 micrómetros, preferentemente más grande de 0.01 a 1 micrómetro. El producto se retira enfriando la disolución caliente filtrada y precipitando el producto, que se puede retirar del disolvente por filtración o centrifugación. Se seca o funde el producto sólido y se separa el disolvente residual. El filtrado se puede desechar o purificar por destilación y/o adicionar al tratamiento con adsorbente para reutilizar en el procedimiento. Opcionalmente, parte del disolvente se puede recircular al procedimiento y una sub-corriente se puede purificar.

La figura 2, ilustra mejor el proceso descrito.

FIGURA N°2

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GLICOLISIS



Descripción de líneas y equipos en el proceso de glicólisis

N	Reactor de glicólisis
P	Filtro para retirar el material insoluble
Q	Destilador separador de productos principales de reacción
R	Tanque de mezcla - se disuelve el BHET e inicia su purificación
S	Pre-calentador de la mezcla
T	Filtro de carbón usado para retirar pigmentos coloreados y otros
U	Enfriador para precipitar el BHET
V	Filtro para recuperar el precipitado BHET como sólido
W	Destilador para purificar el solvente n-butilo
18	Retiro de material insoluble posterior a la reacción
19	Mezcla de BHET/EG
20	Fondos-BHET para hacia el tanque de mezcla para ser disuelto
21	Topes- recuperación de etilenglicol
22	Línea de recirculación de etilenglicol recuperado hacia el reactor
25	Línea de alimentación de solvente puro y recirculación
24	Línea de BHET precipitado hacia filtro para ser recuperado
27	BHET recuperado por filtración
26	Solución resultante del filtro B, hacia recuperación de solvente
29	Solvente n-butilo recuperado para ser reutilizado al proceso
28	Impurezas de la rectificación
23	Línea de etilenglicol que no es recirculada al proceso, sino recuperada
16	Alimentación de PET reciclado al proceso
17	Línea de productos de la reacción de glicólisis

2.-Comparación de Tecnologías

En el cuadro siguiente, se presenta una comparación de las tecnologías descritas anteriormente, para el reciclaje del PET de bebidas.

Cuadro 3.- Tecnologías de reciclaje de PET.

Tecnologías	Metanólisis	Hidrólisis	Glicólisis
Productos principales	Dimetil tereftalato (alta calidad)	Ácido tereftálico y etilenglicol	Bis-hidroxi-tereftalato
Calidad de la materia prima	Se usa hasta PET coloreado, puede usarse PET de mediana calidad.	Acepta hasta un máximo de 40% de contaminantes; puede usarse PET de baja calidad.	Puede usarse PET de mediana calidad.
Condiciones de operación	Altas presiones, temperaturas menores a 180°C	Presiones moderadas, usa ácidos y bases	Catalizada con acetatos y metales
Seguridad Industrial	Elevada por las condiciones de operación	Mediana	Normal
Tecnología Existentes	Implica muchas operaciones unitarias	Pocas operaciones unitarias	Muchas etapas de purificación.

3.- Degradación Química del PET usando la Tecnología de Hidrólisis

La tecnología de hidrólisis se distingue de las otras por:

- Una alta eficacia en la separación de las mezclas contaminantes a partir del material de partida, que hace posible separar mezclas difícilmente separables como el PVC, copolímeros del PET que no cristalizan y residuos de adhesivos poliméricos, con un procedimiento simple.

- La inversión en este proceso de hidrólisis del ácido tereftálico es baja en comparación con otros procesos clásicos que requieren reactores presurizados por lotes.
- Alta eficacia y simplicidad en la tecnología de la purificación de los productos de la hidrólisis, facilitada por su solubilidad en agua.
- La posibilidad de obtener productos finales de alta pureza a partir de material de partida muy contaminado, los cuales serán usados directamente como materia prima para la obtención del PET virgen.

3.1.- Materia prima

La materia prima para el proceso en estudio es el PET reciclado de botellas, es decir, material triturado de botellas de bebidas desechadas, con un tamaño de partícula de 10mm aproximadamente. Debido a que el proceso tolera impurezas su clasificación no requiere ser rigurosa, se puede tolerar hasta un máximo de 30% de impurezas, principalmente poliolefinas de las tapas, papel y adhesivos de las etiquetas y PVC de otras botellas, así como aluminio de las tapas de otras botellas.

3.2.- Productos principales

Los productos que se obtienen son el Ácido Tereftálico y el Etilenglicol que a los largo de varias etapas de purificación alcanzarán alta pureza.

3.3.- Descripción de la tecnología

En la primera etapa se realiza la separación del componente de tereftalato de polietileno del material de partida, mediante su conversión en una forma quebradiza por medio de cristalización, trituración y posterior tamizado. La cristalización del tereftalato de polietileno se lleva a cabo templando el material de partida hasta una temperatura en el intervalo de 140 a 190°C durante un periodo de al

menos 25 minutos y como máximo 60 minutos y llevado hasta 40°C. La purificación del material de partida (PET reciclado con 30% de impurezas), se basa en la separación del componente de tereftalato de polietileno, que bajo tales condiciones es capaz de sufrir una cristalización volviéndose quebradizo, donde los contaminantes de la mezcla de partida tales como residuos de poliolefinas, PVC, papel y adhesivos, resisten las condiciones descritas y el posterior triturado y así podrán ser separados. La mezcla triturada contiene entonces partículas de grano fino de tereftalato de polietileno y partículas de grano muy grueso de los contaminantes. La proporción entre las partículas de tamaño medio del componente de tereftalato de polietileno y las partículas de tamaño medio de otros componentes del material triturado es aproximadamente 1:10. El componente de tereftalato de polietileno se elimina posteriormente de esta mezcla mediante tamizado.

La siguiente etapa, luego de retirar los contaminantes, consiste en la hidrólisis continua del tereftalato de polietileno en dos sub-etapas, se realiza la primera sub-etapa alimentando con vapor la mezcla polimérica en un reactor de extrusión. El reactor está compuesto de una extrusora de doble husillo, representando la longitud de los husillos al menos 25 veces su diámetro ($L/D = 25$), y una mezcladora estática complementaria en su orificio de salida. Los productos de la primera sub-etapa de la hidrólisis se llevan desde el orificio de salida del reactor de extrusión hasta el reactor de la segunda sub-etapa, donde reaccionan con exceso de una disolución acuosa de hidróxido de amonio, dando lugar a sal amónica de ácido tereftálico y etanodiol. Las mezclas insolubles en agua se eliminan de la disolución de los productos de la hidrólisis de la segunda sub-etapa mediante filtración.

La tercera etapa supone la condensación del ácido tereftálico a partir de la solución acuosa de los productos de la segunda sub-etapa de la

hidrólisis, por medio de un ácido inorgánico, y su separación por filtrado.

En la última etapa, el etilenglicol se separa del filtrado de los productos de la segunda etapa de la hidrólisis, tras la separación del ácido tereftálico por medio de una rectificación continua de dos etapas.

Principales condiciones del proceso

En la primera etapa del proceso la materia prima se templea en un horno de túnel dotado de un alimentador de husillo hasta una temperatura de 175°C, mientras el material se retiene en el horno por 32 minutos. En el orificio de salida del horno, el material se enfría por aire hasta 40°C y se transporta por medio de un transportador tubular neumático hacia un molino de rodillos, donde se tritura. Se separa la mezcla triturada con una partícula tamaño menor de 0,7mm, mediante tamizado sobre una mesa vibratoria. En el transcurso de esta operación, el componente de tereftalato de polietileno del material de partida se separa de las impurezas más gruesas que no son quebradizas.

Posteriormente el material de partida triturado, purificado mediante tamizado, se transporta por medios neumáticos a la tolva de carga del reactor de extrusión. El reactor hidrolítico de extrusión está formado por una extrusora de doble husillo con un diámetro de husillo de 80mm y una proporción entre la longitud y el diámetro del husillo $L/D=25$, y una mezcladora estática que sigue directamente a la salida de la extrusora. La mezcladora estática está diseñada como un cilindro con una cavidad continua asimétrica de 80mm de diámetro y 800mm de longitud, ocupada por 6 segmentos de mezcla estáticos en forma de hélices dextrógiras alternándose con hélices levógiras, de 40mm de ancho y 8mm de espesor. El rodillo de la

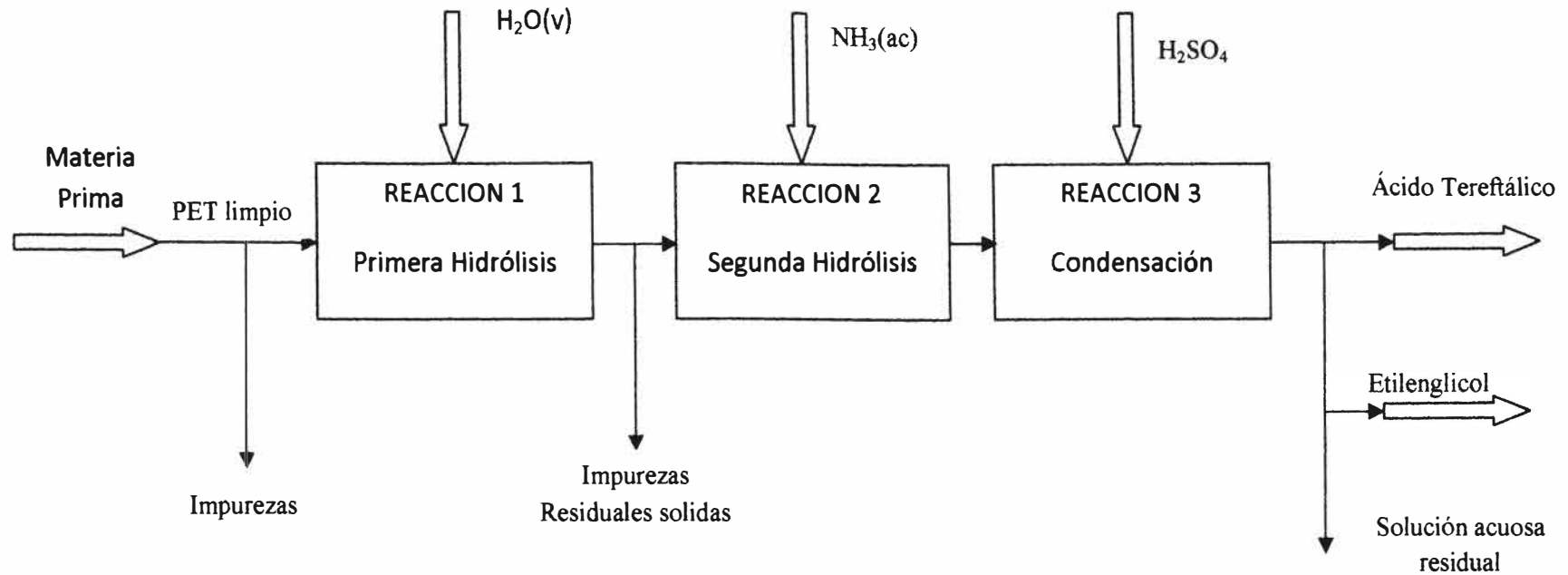
extrusora se temple en cinco zonas con temperaturas de 270, 280, 300, 300, 300°C en la dirección de la tolva hacia la boca.

La camisa de la mezcladora estática se temple hasta 300°C. La alimentación del vapor bajo una presión de 3.8 MPa tiene lugar en el extremo del primer tercio de la longitud de la extrusora. Los husillos de la extrusora giran a una velocidad de 16 revoluciones por minuto. Una línea de alimentación de vapor a la misma presión se lleva al orificio de entrada de la mezcladora estática.

La descomposición polimérica hidrolítica, autocatalizada por los productos que se forman, tiene lugar durante el transcurso de la extrusión del material de tereftalato de polietileno. El equipo de filtrado se monta sobre el orificio de salida del reactor de extrusión, para eliminar las impurezas residuales sólidas de los productos oligoméricos de la primera etapa de la hidrólisis. Los productos de la primera etapa de la hidrólisis se introducen en un reactor de flujo con agitación para la segunda etapa de la hidrólisis. La reacción hidrolítica de los productos oligoméricos de la primera etapa de la hidrólisis con el exceso de la disolución acuosa de hidróxido amónico tiene lugar en este reactor a una temperatura de 200°C y bajo presión de 2.1MPa. Los productos de la segunda etapa de la hidrólisis, es decir, la disolución acuosa de sal amónica de tereftalato de polietileno y etilenglicol, se enfría a 95°C y se lleva al reactor agitado para la condensación ácida del ácido tereftálico. En este reactor se condensa el ácido tereftálico a partir del hidrolizado mediante la disolución con ácido sulfúrico. La suspensión resultante se transporta a un filtro de tambor al vacío, donde el ácido tereftálico es filtrado y lavado como producto final.

El filtrado que contiene etilenglicol es conducido a columnas de rectificación de dos etapas, pero previo a ello se divide en dos partes; la primera parte con aproximadamente 44% de la línea se mezcla con los topes de la primera columna de rectificación, esta mezcla constituye el exceso de la disolución acuosa de hidróxido amónico que es alimentado al reactor de flujo con agitación. La segunda parte que constituye el 56% va a un tanque de mezcla, donde se le adiciona hidróxido de calcio para poder retirar el sulfato proveniente de la condensación del ácido tereftálico. La mezcla es calentada hasta 91°C y llevada a la primera columna de rectificación de donde se obtiene por los topes amoniaco acuoso y en los fondos, agua, etilenglicol y sulfato de calcio hidratado. La mezcla de los fondos es llevada al proceso de filtrado y lavado donde se retira como torta el sulfato de calcio hidratado y se retira una solución que es conducida a un segunda columna de rectificación previo calentamiento hasta 101°C, de donde por los topes se obtiene agua con pequeñas cantidades de etilenglicol y por los fondos el etilenglicol con cantidades pequeñas de agua segundo producto final. El producto de los topes es recirculado al reactor hidrolítico de extrusión, para mantener un balance del etilenglicol.

FIGURA N°3
DIAGRAMA INPUT OUTPUT DEL PROCESO



La figura nos muestra, las líneas de ingreso y salidas principales de las unidades de conversión.

FIGURA N°4
DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS DIVERSAS ZONAS DEL PROCESO

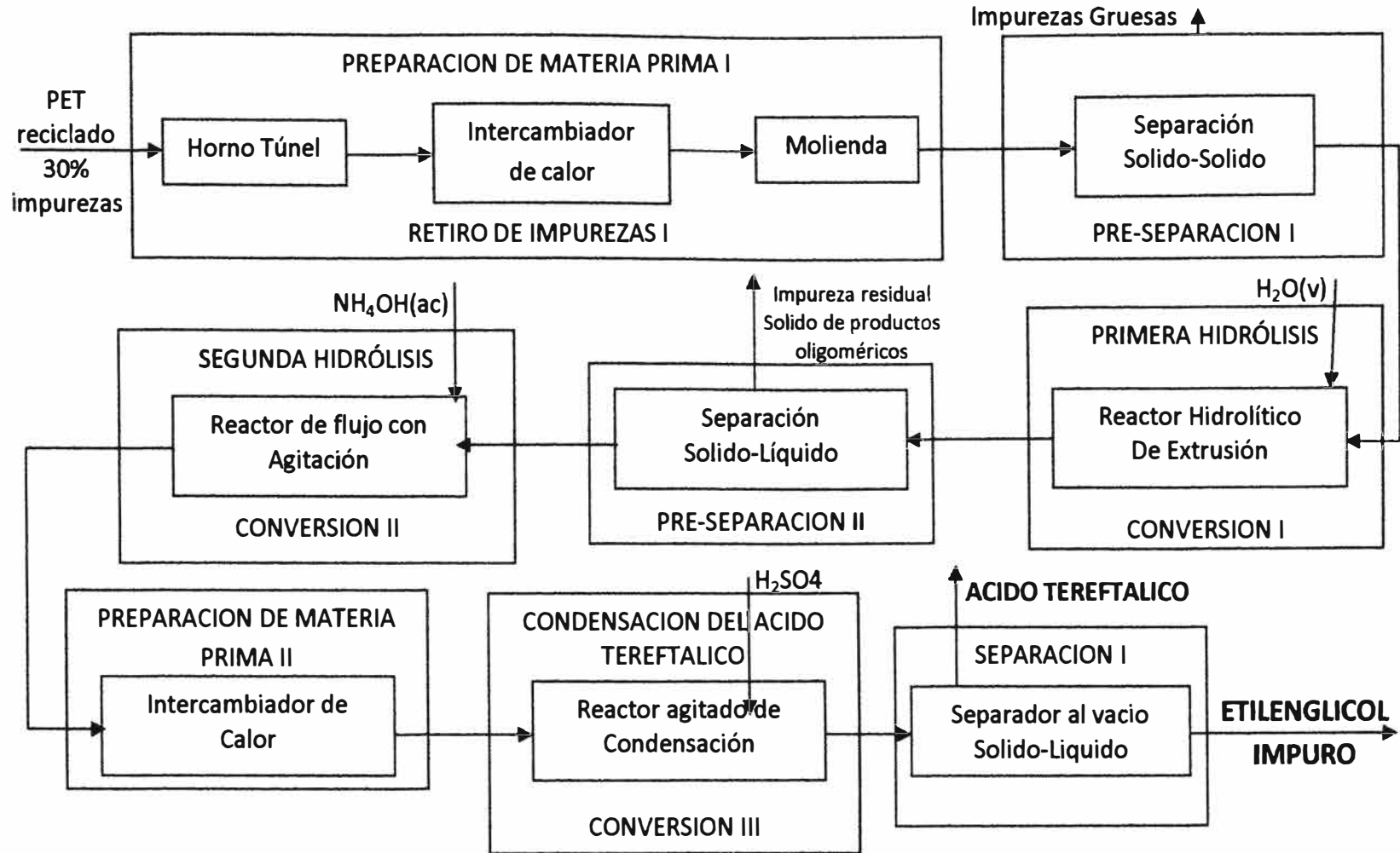
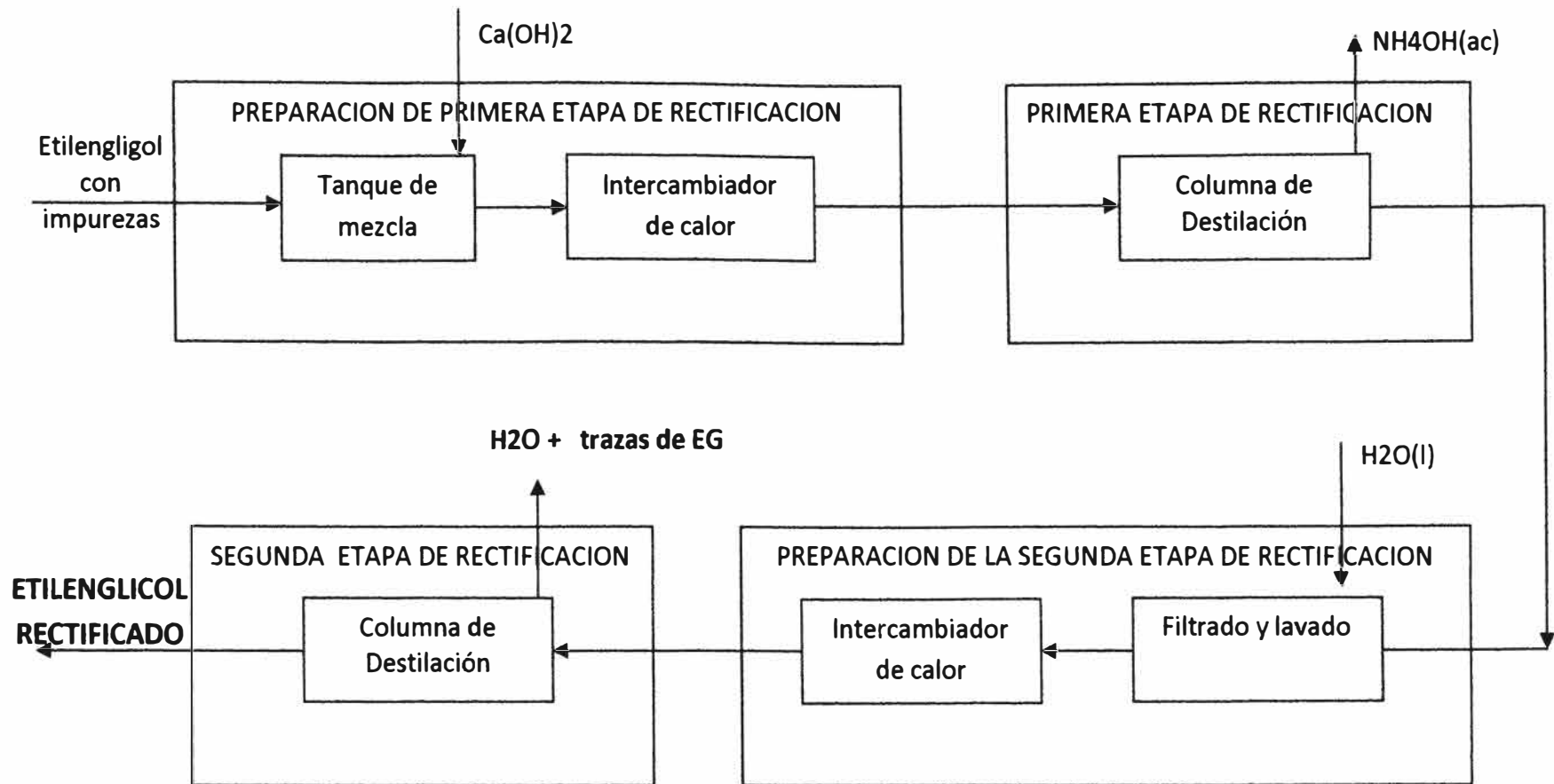


FIGURA N°4

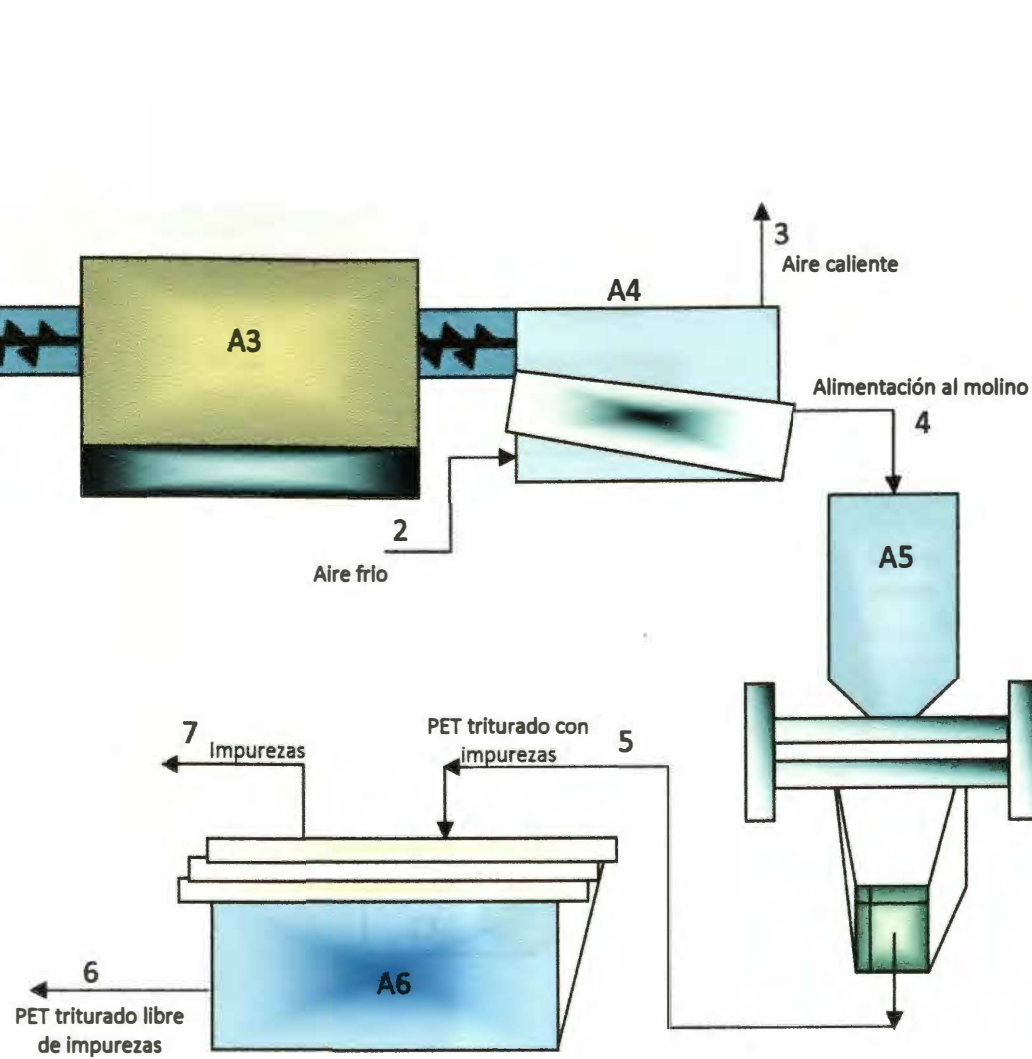
CONTINUACION... DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS DIVERSAS ZONAS DEL PROCESO



La figura N° 4, nos da una mejor ilustración de las diversas zonas de conversión, preparación de carga y las separaciones presentes en el proceso.

FIGURA N°5

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA TECNOLOGIA APLICADA POR HIDROLISIS



Descripción de líneas y equipos en la tecnología aplicada

A1	Tolva de alimentación al alimentador de husillo
A2	Alimentador de husillo
A3	Horno tunes continuo
A4	Enfriador
A5	Molino
A6	Mesa zaranda
1	Línea de alimentación de PET reciclado con un 30%max impurezas
2	Alimentación de aire frio para el enfriador
3	Salida de aire caliente del enfriador
4	Alimentación al molino
5	PET triturado con impurezas hacia la zaranda
6	PET triturado libre de impurezas
7	Impurezas presentes en el PET reciclado
B1	Reactor de extrusión de doble husillo
B2	Mezcladora estática que forma parte del reactor
B3	Filtro
B4	Reactor de flujo con agitación
B5	Pre-calentador
B6	Tanque reactor de condensación
B7	Filtro
B8	Secador para el ácido tereftálico
B9	Tanque de mezcla
C1	Tanque de mezcla
C2	Pre-calentador
C3	Rectificador 1ra etapa– columna de destilación
C4	Filtro
C5	Pre-calentador

C6	Rectificador 2da etapa- columna de destilación
8	Línea de alimentación de PET triturado libre de impurezas
9	Alimentación de vapor a 3.8MPa
10	Alimentación de vapor a 3.8MPa
11	Productos de la primera sub-etapa de hidrólisis al filtro
12	Impurezas residuales sólidas
13	Alimentación a la segunda sub-etapa de hidrólisis
14	Alimentación de hidróxido de amonio acuoso al reactor de con agitación
15	Línea de salida del reactor de flujo c/ agitación
16	Dosificación de Acido sulfúrico
17	Alimentación de agua de lavado al filtro
18	Emulsión de ácido tereftálico hacia el filtro
19	Solución acuosa de etilenglicol, hidróxido de amonio y sulfato
20	Se toma el 56% aprox. de la línea 19 hacia un tanque de mezcla
21	Se toma el 44% aprox. de la línea 19 para recuperar el NH ₄ OH
22	Dosificación de Hidróxido de calcio para precipitar el sulfato
23	Línea con NH ₄ OH, y sulfato de calcio anhidro en su mayoría
24	Topes del primer rectificador, se recupera NH ₄ OH
25	Fondos del primer rectificador, se tiene Agua, EG e sulfato de calcio anhidro
26	Recuperación de ácido tereftálico como torta del filtro
27	Ácido tereftálico recuperado
28	Alimentación de agua de lavado
29	Recuperación de una solución de etilenglicol con agua
30	Topes del segundo rectificador, se tiene agua
31	Fondos del segundo rectificador, se obtiene etilenglicol
32	Retiro del sulfato de calcio anhidro como torta del filtro

3.4.- Seguridad industrial para el proceso

- Las temperaturas no son mayores a 300°C, por lo que no requieren de una ropa especial como un traje ignífugo para su manipulación, mas si el uso de guantes de protección y mandiles que reduzcan el paso del calor.
- En el proceso se empleará vapor a una presión de 3.8MPa. El uso de vapor en un proceso productivo, siempre implica tener los cuidados necesarios para su manipulación, es importante para ello verificar el correcto funcionamiento de las válvulas e instrumentos de seguridad y el control permanente de las condiciones de operación, los cuales harán seguro el uso de vapor.
- Las concentraciones empleadas de ácido sulfúrico en el proceso de hidrólisis están por encima del 87% en peso, por lo cual su empleo es riesgoso para la seguridad del personal. A esta concentración puede dar lugar a una ignición en contacto con materia orgánica, así como también reacción exotérmica con el agua, liberando mayor cantidad de calor cuando el agua se encuentra en una proporción de 2:1; deshidrata los compuestos orgánicos y logra carbonizarlos. En contacto con la piel o con los ojos, provoca fuertes quemaduras; muy dañino al ser ingerido y sus vapores generan graves daños a los pulmones. El personal que forme parte del proceso productivo debe estar informado sobre los riesgos que implica el manejo inadecuado de esta reactivo, el uso correcto del equipo de protección así como también las acciones a tomar en caso de derrames y fugas.

- El ácido tereftálico, reacciona violentamente con oxidantes fuerte, en polvo fino forma mezcla explosiva con el aire, es necesario el uso de un respirador con filtro para sustancias peligrosas, así como el evitar ingerir alimento mientras se trabaja con este ácido. Se debe tomar en cuenta todas las medidas de seguridad para su producción y almacenamiento.

3.5.- Medio ambiente

- En la etapa de Pre-Separación I, se obtienen residuos solidos que están compuestos básicamente por poliolefinas, PVC, papel y adhesivos, los cuales son impurezas para el producto, estos productos no son tóxicos, por lo que no representan un peligro para el medio ambiente.
- En la etapa de Pre-Separación II, se obtiene como desecho una mezcla de productos oligoméricos como resultado de la primera etapa de hidrólisis, estos serán dispuestos como residuos sólidos.
- El mal almacenamiento o la mala manipulación del producto ácido tereftálico, pone en riesgo la seguridad y salud de las personas. Como parte de un buen manejo de partículas en suspensión, un ambiente cerrado y mangas de retención de sólidos será necesario.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La tecnología descrita en el presente informe tiene gran simplicidad frente a cualquier otra tecnología, las condiciones de operación en las cuales se desarrolla, como temperaturas máximas de 300°C y presiones máximas de 4atm dan mayor facilidad a su implementación. La tecnología de hidrólisis es viable económicamente a una escala industrial, dado que la parte más costosa son los procesos de purificación que a pequeñas escalas resultará elevado.
- Se recomienda trabajar con un máximo de 24% de impurezas en la materia prima para lograr asegurar una buena eficiencia de hasta un 99% tras el proceso de separación posterior a la molienda, y se verá reflejado en la purificación del producto. Puede verificarse a través de la identificación a través de espectrometría infrarroja, obteniendo como resultado espectros similares a los patrones de sustancias puras.
- Los productos obtenidos son de pureza química los cuales se pueden volver a hacer reaccionar, dando un nuevo PET que puede usarse para envases de alimentos.
- La tecnología expuesta permite instalar una planta pequeña, a bajo costo, con pocas operaciones unitarias, y condiciones de trabajo moderadas, lo cual hace asequible su uso.
- La recuperación del ácido tereftálico y el etilenglicol a partir de productos de desecho, no solo tienen una gran importancia económica, sino también ecológica. El uso de material de reciclaje reduce la cantidad de desechos destinados a rellenos sanitarios, pero no solo es importante por ello, sino que también con producción de ácido tereftálico a partir de material reciclado la demanda de petróleo (recurso no renovable) para insumos en la elaboración de poliéster es mucho menor.

V.- BIBLIOGRAFIA

- Warner J.G. Cudmore, 25847 Ashwood Dr., Sun Lakes, Atiz. 85224; Patente: Polyethylene Terephthalate Saponification Process, Patente Number 4,578,502; Date of Patent Mar. 25, 1986.
- Sirek, Milan 120 00 Praha 2 (CZ), JIrousek, Jaroslav 398 48 Jetetlce 88 (CZ), Patente: The Method Of Chemical Recycling Of Polyethylene Terephthalate Waste, Application number 01907329.5 EP 1 292 558 B1; Date of publication Mar. 19 2003.
- Richard A. Lamparter, Houghton, Mich; Brace A, Barna, Las Cruces, N. Mex; David R. Johosrad, North Brunswick, N.J. Patente: Process For Recovering Terephthalic Acid From Waste Polyethylene Terephthalate, Patent Number 4,542,239; Date of Patent Sep. 17, 1985.
- Ekart, Michael Paul y Pell, Thomas Mickael, Jr.; Patente: Procedimiento Que Incluye Glicolisis Y Purificación Posterior Para Reciclar Materiales De Poliéster; Número de publicación: 2 157 475; Fecha de Presentación: 26.11.1996.
- Sirek, Milan y JIrousek, Jaroslav; Patente: Procedimiento De Reciclaje Químico De Residuos De Tereftalato De Polietileno; Número de Publicación: 2 222 341; Fecha de presentación: 08.03.2001.
- Losio, Gianfranco, Strada Regina; Patente: Procedimiento Para La Obtención De Compuestos De Poliuretano Conteniendo Gránulos de Corcho O Sustancias Similares, Particularmente Para La Fabricación De Suelas Para Calzado, Aparato Para La Realización De Este Procedimiento Y Producto Asi Obtenido; Número de Publicación: 0 411 598; Fecha de Presentación: 01.08.90
- <http://www.scribd.com/doc/17600781/Proyecto-Planta-De-Reciclado-Botellas-PET>

- <http://www.scribd.com/doc/16854727/Folleto-Reciclaje-Envases>
- <http://www.patentesonline.com.mx/procedimiento-mejorado-para-la-obtencion-de-acido-tereftalico-apartir-de-dimetiltereftalato-20946.html>
- <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/Proyecto/P668.42CDR173/capitulo6.pdf>
- Modern Plastics y Charles A. Harper; Manual De Plásticos (vol II); 2003
- http://actrav.itcilo.org/osh_es/m%3dulos/ic/100210.htm
- <http://www.textoscientificos.com/sulfurico/introduccion>
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/amoniac>
- <http://www.grupoprevenir.es/fichas-seguridad-sustancias-quimicas/0262.htm>
- www.aduanet.gob.pe

VI. ANEXOS

ANEXO 1

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Extrusión.**- Acción de compactar un material plástico y forzarlo pasar a través de un orificio.
2. **Inyección.**- Proceso de producción de productos plásticos donde la materia prima es calentada y cuando esta plastificada es inyectada dentro de un molde frio, por contacto con las paredes metálicas frías pierde
3. **Soplado.**- Genera productos huecos por medio de expansión de plástico caliente contra la superficie interna de un molde, con lo cual toma la forma final.
4. **Termoconformado.**- Es un término genérico para la manufactura de componentes plásticos, los cuales son elaborados mediante un proceso de vacía. Consiste en calentar una lámina termoplástica hasta su reblandecimiento y forzar el material caliente y maleable contra las paredes de un molde.
5. **Termoplástico.**- Plástico que puede suavizarse o fundirse repetidamente mediante incrementos de la temperatura y endurecido por decrementos de esta. Estos cambios son físicos más que químicos.
6. **Dacron.**- Es un poliéster, primera fibra textil sintética lavable de múltiples aplicaciones, es el propio PET pero en fibra.
7. **Teryleno.**- Es la primera fibra de poliéster basada en PET, siguiéndole el Dacron.
8. **Policondensación.**- Proceso de obtención de fibras de poliéster.

9. **Productos oligoméricos.-** Productos poliméricos que contienen pocas unidades de monómero; contienen un dímero o un trímero.
10. **Poliolefinas.-** Se denomina poliolefina a todo polímero obtenido mediante la polimerización de alquenos, también se les denomina polialquenos.

ANEXO 2

ABREVIATURAS

1. **AT** .- Ácido Tereftálico
2. **EG** .- Etilenglicol
3. **DMT**.- Dimetil Tereftalato
4. **BHET**.- Bis-hidroxietilen-tereftalato
5. **PE**.- Polietileno
6. **PVC**.- Policloruro de Vinilo

ANEXO 3**Propiedades físicas y químicas del Ácido Sulfúrico**

Fórmula molecular	H ₂ SO ₄
Masa molecular	98.08 g/mol
Apariencia	Líquido aceitoso incoloro
Densidad	1,834 g/cm ³
Punto de fusión	10.37°C
Punto de ebullición	317°C

Propiedades físicas y químicas del Amoniac(gas)

Nombre IUPAC	Hidruro de nitrógeno (III)
Fórmula	NH ₃
Peso molecular	17 g/mol
Apariencia	Gas incoloro en condiciones normales
Temperatura de solidificación	-77.7°C
Temperatura normal de ebullición	-33.4°C
Densidad del gas (0°C y 1atm)	0.7714g/l
Solubilidad en agua	Muy soluble

Propiedades físicas y químicas del Hidróxido de Calcio

Nombre IUPAC	Hidróxido de Calcio
Fórmula	Ca(OH) ₂
Peso molecular	74.093 g/mol
Apariencia	Polvo blanco
Temperatura de solidificación	580°C
Temperatura normal de ebullición	Se descompone
Densidad	2.211 g/cm ³
Solubilidad en agua	Ligeramente soluble 0.19g/100cc agua

Propiedades físicas y químicas del Tereftalato de Dimetilo

Nombre IUPAC	1,4-Bencenodicarboxilato de dimetilo
Fórmula	$C_{10}H_{10}O_4$
Peso molecular	194.20 g/mol
Temperatura de fusión	140°C
Temperatura de ebullición	288°C
Punto de inflamación	153°C
Solubilidad en agua	Ninguna