



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET.”

TESIS DE GRADO

**Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**FREIRE CÁRDENAS LUIS MIGUEL
GONZÁLEZ MOSQUERA CRISTIAN JEYSON**

RIOBAMBA - ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

Esta es la primera vez que se realiza un trabajo tan extenso y que representa el fin y comienzo de una etapa de nuestras vidas, por lo que, queremos expresar la más sincera gratitud a todos quienes, de una u otra manera, nos han acompañado en esta larga jornada.

Agradecemos a nuestra familia quienes participaron, directa e indirectamente, de nuestra formación e inculcaron en nosotros el compromiso absoluto, con lo que uno hace. No podemos dejar pasar esta oportunidad sin decirles que los amamos.

Agradecemos de manera especial y sincera al Ing. Hanníbal Brito e Ing. Aida Granja por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado, y además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

Expresamos nuestra gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Química por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales, del mismo modo a nuestros profesores a quienes debemos gran parte de nuestros conocimientos.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida a las que agradecemos su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles.

Dejamos para el final, por ser el más importante de los agradecimientos, a Dios, por trazar el camino por los que nuestros pies avanzan.

Luis Miguel Freire Cárdenas

Cristian Jeyson González Mosquera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A mis padres, por ser el pilar más importante en mi vida, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mi hermana, por estar conmigo y apoyarme siempre.

Luis Miguel Freire Cárdenas

Dedico la presente tesis a mis padres, Bolívar y Gladys, quienes con su tenacidad y lucha han hecho de ellos mis dos grandes ejemplos a seguir.

A mis queridos hermanos: Mary, Cleo, Dany y Darwin quienes, al igual que mis padres me han apoyado y creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mí querido abuelito Juan, mi primo Carlos, a mí cuñado Wider y todos mis sobrinos por su cariño.

En especial a la familia Freire por su acogida y hacerme sentir como un hijo y hermano más, y a Luis Miguel por ser quién deposito su entera confianza en mí para el desarrollo de este trabajo.

Cristian Jeyson González Mosquera

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE TRITURACION PARA BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET”, de responsabilidad de los señores Luis Miguel Freire y Cristian Jeyson González Mosquera ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez L. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Hanníbal Brito M. DIRECTOR DE TESIS
Ing. Aida Granja. MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Tec. Carlos Rodríguez. DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN
Nota de Tesis Escrita	

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Nosotros, LUIS MIGUEL FREIRE CÁRDENAS Y CRISTIAN JEYSON GONZÁLEZ MOSQUERA, somos responsables de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

Luis Miguel Freire C.

CristianJeyson González M.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO		Pp.
	PORTADA	
	AGRADECIMIENTO	
	DEDICATORIA	
	HOJA DE FIRMAS	
	HOJA DE RESPONSABILIDAD	
	ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
	ÍNDICE DE CUADROS	
	ÍNDICE DE TABLAS	
	ÍNDICE DE FIGURAS	
	ÍNDICE DE REACCIONES	
	ÍNDICE DE ANEXOS	
	RESUMEN	i
	SUMARY	ii
	INTRODUCCIÓN	iii
	ANTECEDENTES	v
	JUSTIFICACIÓN	viii
	OBJETIVOS	ix
	CAPITULO I	
1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	PLÁSTICOS	1
1.1.1	GENERALIDADES	1
1.1.2	CLASIFICACIÓN	2
1.1.3	PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS PLÁSTICOS	4
1.1.4	APLICACIONES Y USOS DE LOS PLÁSTICOS	7
1.2	TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)	7
1.2.1	INTRODUCCIÓN	7
1.2.2	PRODUCCIÓN DE PET	7

		Pp.
1.2.3	PROPIEDADES	12
1.2.4	APLICACIONES	14
1.3	RECICLAJE	16
1.3.1	DEFINICIÓN	16
1.3.2	RECICLAJE EN EL PAÍS	16
1.3.3	EL RECICLAJE DEL PLÁSTICO	18
1.3.4	CARACTERÍSTICAS DEL PET RECICLADO.	26
1.4	REDUCCIÓN DE TAMAÑO	26
1.4.1	EQUIPO PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO	27
1.4.2	ETAPAS DE TRITURACIÓN	28
1.4.3	LEYES DE TRITURACIÓN	31
1.4.4	TRITURADORES	33
1.5	SEPARACIONES MECÁNICAS	36
1.5.1	EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO	38
1.5.2	MÁQUINAS CORTADORAS	38
1.5.3	OPERACIÓN DEL EQUIPO	39
1.6	ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS Y SISTEMAS QUE FORMARAN PARTE DEL EQUIPO.	39
1.6.1	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	40
1.6.2	SISTEMA DE CORTE	40
1.7	DISEÑO	42
1.7.1	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS A MUESTREAR	42
1.7.2	DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA	43
1.7.3	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	44
1.7.4	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE	45
1.7.5	DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE INERCIA	46
1.7.6	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	47
1.7.7	DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACIÓN	48
1.7.8	DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)	48
1.7.9	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE FINOS	49

		Pp.
CAPÍTULO II		
2	PARTE EXPERIMENTAL	51
2.1	MUESTREO	51
2.2	METODOLOGÍA	51
2.2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS	51
2.3	DATOS DE DISEÑO	57
2.3.1	DIAGNÓSTICO	57
2.3.2	DATOS	57
CAPÍTULO III		
3	DISEÑO	60
3.1	CÁLCULOS	60
3.1.1	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS A MUESTREAR	60
3.1.2	DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PERCÁPITA	60
3.1.3	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	60
3.1.4	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR	61
3.1.5	DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE INERCIA	61
3.1.6	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS	62
3.2	RESULTADOS	62
		63
3.2.1	DETERMINACION DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACION	63
3.2.2	DETERMINACION DEL DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)	64
3.2.3	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE FINOS	65
3.3	PROPUESTA	65
3.3.1	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO	65
3.4	ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	68

		Pp.
	CAPÍTULO IV	
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
4.1	CONCLUSIONES	69
4.2	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	70
	ANEXOS	

ABREVIATURAS

PPC =	Producción per cápita
W =	Potencia del motor (HP)
K =	Constante del Molino
Φ_f =	Diámetro de la partícula después de la desintegración (mm)
Φ_i =	Diámetro de la partícula antes de la desintegración (mm)
w =	Índice de trabajo
B =	Constante que depende del tipo de máquina y del material a desintegrar.
L_i =	Tamaño de la partícula antes de la desintegración (mm)
L_f =	Tamaño de la partícula después de la desintegración (mm)
σ^2 =	Desviación estándar.
E =	Error permisible.
N =	Total zonas.
Z1-α =	Coeficientes de confianza al 95%.
PPC_{PET} =	Producción per cápita de botellas tipo PET
Wt =	Peso total de residuos
# Personas =	Población total de los puntos muestreados.
l =	Largo en cm
a =	Ancho en cm
h =	Alto en cm
P=	Potencia, Hp.
E =	Energía necesaria para la reducción de tamaño, Hp h/Ton.
Cp =	Capacidad del equipo, Kg/h.
K =	Constante de Rittenger, Hp H/Ton.
Φ_2 =	Diámetro del material de entrada.
Φ_1 =	Diámetro del material de salida.
T =	Torque, Nm.

P =	Potencia del motor, Hp.
n =	velocidad de las cuchillas, rpm.
I =	Inercia, Kgm ²
m =	Masa, Kg.
r =	Radio, m.
w =	Velocidad angular (rad/s)
min =	Minutos
s =	Segundos
rev =	Revoluciones
v =	Velocidad lineal (m/s)
r =	Radio, m.
l =	Largo (cm)
A =	Área (cm ²)
Π =	pi (3,1416)
a =	Peso de la muestra a tamizar (Kg)
b =	100 %
c =	Peso del producto tamizado (Kg)

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	NOMBRE	Pp.
1.1.2-1	CLASIFICACION DE BOTELLAS PLÁSTICAS	3
1.3.3.1-1	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS PLÁSTICOS	6
1.2.4-1	APLICACIONES COMUNES DEL PET	16
1.5.1-1	EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO	38

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	NOMBRE	Pp.
1.3.3.1-1	DENSIDAD DE MATERIALES PLÁSTICOS	5
1.2.2-1	CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE XILENO	8
1.2.3 -1	DATOS TÉCNICOS DEL PET	13
1.3.3.3.1.1-1	CARACTERISTICAS DEL PET Y RPET	24
2.2.1.2.1-1	DETERMINACIÓN DE PPC DE BOTELLAS TIPO PET	54
2.2.1.2.2-1	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LA MOLIENDA DEL MATERIAL PLÁSTICO	55
2.2.1.2.3-1	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE FINOS	56
2.3.2-1	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR DIA – ESPOCH	57
2.3.2-2	DATOS PARA PROCESO DE TRITURACIÓN	
2.3.2-3	DATOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN	58
2.3.2-4	DATOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN	59
3.2-1	DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE TRITURACION DE BOTELLAS TIPO PET	62
3.2.1-1	DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACIÓN	63
3.2.2 -1	DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)	64
3.2.3-1	PORCENTAJE DE FINOS	65
1.3.1.1.1-1	RECURSOS MATERIALES	66
1.3.1.1.2-1	RECURSOS HUMANOS	67
1.3.1.1.3-1	RECURSOS TOTALES	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	NOMBRE	Pp.
1.2.2-1	TIPOS DE XILENOS	8
1.3.3.3-1	CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES PET	18
1.4.2.1-1	CONCEPTUALIZACIÓN DE AREA PROYECTADA	30
1.4.4.1-1	TRITURADOR DE RODILLOS LISOS	34
1.4.4.1-2	CORTE TRITURADORA DE RODILLOS LISOS	34
1.6.2-1	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA EN FUNCIÓN DEL LA SEPARACIÓN ENTRE CUCHILLAS	41
1.6.2-2	TIPOS DE CUCHILLAS DE CORTE	42
2.4-1	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR DÍA – ESPOCH	58

ÍNDICE DE REACCIONES

Rx	NOMBRE	Pp.
1.2.2.1-1	FORMACIÓN DE ETILENGLICOL A PARTIR DE ETILENO	9
1.2.2.1-2	PROCESO DE ESTERIFICACIÓN	9
	ESQUEMA DE ESTERIFICACIÓN Y POLICONDENSACIÓN DEL	10
1.2.2.1-3	PET	

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	NOMBRE	Pp.
I	TRITURADOR DE BOTELLAS TIPO PET	75
II	COMPONENTES DEL EQUIPO	76
III	SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS	77

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un equipo de trituración de botellas plásticas tipo PET, para implementar el Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) para minimizar los impactos ambientales que estas generan al ambiente, conociendo que tardan 350 años en degradarse.

Se realizó una investigación exhaustiva para determinar la problemática existente, así como también el muestreo más adecuado para la recopilación de las muestras entre la población existente en la ESPOCH, luego se procedió a la recopilación de botellas en 11 unidades académicas de las 13 existentes, posteriormente se cuantifico y clasificó los residuos sólidos generados, obteniéndose que el 19 % corresponden a polímeros, de la cantidad identificada se determinó que el 17 % corresponden a material plástico tipo PET, a continuación se procedió al acondicionamiento de la materia prima, se tabularon los datos y se diseñó el equipo de reducción de tamaño.

Se determinó que el equipo tiene una eficiencia del 85 %, con un rendimiento del 94%, se concluye que el producto obtenido como escamas de plástico, pueden utilizarse como materia prima para otros procesos productivos.

Recomendándose que el equipo sea parte de la primera etapa de la línea principal de producción para la obtención de pelets.

SUMARY

The design and construction of equipment for shredding of plastic bottles PET type was carried out to implemented the Unit Operations Laboratory at the Faculty of Sciences of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) to minimize the environmental impacts the generate in the environment since these take 350 years to degrade.

It was conducted an exhaustive investigation to determine the actual problems, as well as the most suitable sampling for de collection of samples between the existing population in the ESPOCH, then it was performed the compilation of bottles in 11 academic units all the 13 current.

Subsequently if was quantified and categorized the solid waste generated; resulting that the 19% correspond to polymers, of the quaintly identified, the 17% correspond to material type plastic PET, continuing with the processing of the raw material the data were tabulated and the size reduction equipment was designed.

It was determined that the equipment has an efficiency of 85%, with a yield of 94%, it was concluded that the product of obtained like flakes of plastic can be using as raw materials for the other productive processes. Being recommended that the equipment be part of the first stage of the main production line for the obtaining of pellets.

INTRODUCCIÓN

La problemática con los residuos sólidos es que su utilidad ha venido aumentando con un inmensamente a nivel mundial, en especial el uso de las botellas de PET, en el mundo ha venido creciendo inmensamente en los últimos 35 años dada su utilidad, según la ONU, cuatro de cada cinco botellas de PET utilizadas van directamente a los basureros. Esto significa que solamente el 20% del PET utilizado se recicla y esto es verdadero para países con alta conciencia ecológica como Alemania donde se recicla el 19%.

El problema está en países como el nuestro, donde se estima que se recicla del 7 a 9%, analizando las cifras, el Servicio de Rentas Internas (SRI) ha dado a conocer que, desde enero de 2012, esta práctica sustentable ha dejado una recaudación de \$14 millones, así como una devolución de \$8 millones, y según el Programa Nacional de Desechos Sólidos, del Ministerio del Ambiente (MAE), los montos mencionados, traducidos a botellas recicladas, representa 1136 millones de envases. Frente a las producción de botellas durante 2012 (1406 millones) lo recolectado hasta ahora representa el 80%.

Dentro, no solo de la provincia de Chimborazo es realmente una tarea costosa y compleja para los municipios encargados de la recolección y disposición final de los residuos ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan, por sus características los plásticos generan problemas en la recolección, traslado y disposición final. Algunos datos nos alertan sobre esto. Por ejemplo, un camión con una capacidad para transportar 12 toneladas de desechos comunes, transportará apenas 6 ó 7 toneladas de plásticos compactado, y apenas 2 de plástico sin compactar.

Como consecuencia de la elevada producción de materiales plásticos PET, fue necesario realizar una investigación para su tratamiento, los mismos que pueden ser usados como materia prima para otros procesos productivos una vez procesadas las botellas, para ello, se realizó un muestreo de la cantidad generada de botellas PET en 11 lugares estratégicos de la ESPOCH y mediante un muestreo aleatorio estratificado, con una toma de muestras con frecuencia diaria al final de la jornada laboral de la institución, determinado que la producción de residuos sólidos es de 60 kg/h, mientras que la producción per cápita de botellas PET es de 0,0042 kg/persona-día.

El Ingeniero Químico tiene la capacidad de innovar constantemente los sistemas de producción en las diferentes áreas industriales, con un enfoque a preservar el ambiente, por lo que, busca diseñar y construir un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET, el mismo que disminuye o corta botellas plásticas recicladas en la ESPOCH, en partículas pequeñas que luego de pasar por un proceso de lavado, secado y extrucción se convierte en pelets los que podrán convertirse en productos nuevos; que luego podrán ser comercializados.

El equipo triturador tiene una capacidad de trabajo de 20 Kg/h, el corte se efectúa por un proceso netamente mecánico; por lo que la botella de PET introducida en la tolva de alimentación tiene contacto directo con la cámara de trituración; cuyo interior está compuesto por cuchillas de corte y una rejilla. Paulatinamente la botella plástica es arrastrada y cortada alcanzando partículas de dimensiones apropiadas y de esta manera siendo evacuadas hacia el exterior. El eje rotor es accionado por un motor eléctrico con un sistema de transmisión por banda trapezoidal, el rendimiento obtenido por el equipo es de 94% considerando este valor debido a que las botellas antes de ser trituradas son acondicionadas para entrar a la cámara de trituración y se pierde los picos de las mismas.

Para la ESPOCH, es una opción fomentar una cultura hacia el reciclaje dirigida a los compañeros politécnicos, con la creación de equipos innovadores y eficientes que lleve consigo a mejorar el ambiente, es por eso que, se ha propuesto el diseño y construcción del equipo triturador de botellas plásticas tipo PET, con el cual se fortalece los conocimientos teóricos y se reduce la cantidad de residuos plásticos que se acumulan en la ESPOCH porque estos materiales no tienen un peso elevado pero si ocupan un volumen considerable.

ANTECEDENTES

La materia prima plástica PET fue sintetizado por primera vez en 1941 por JR Whinfield y JT Dickinson como polímero de fibra, es decir, se tenía planeado inicialmente que su finalidad fuera en el sentido de fibra de poliéster: alfombras, ropa, etc. En 1976 se utilizó por vez primera en envases para bebidas. El nombre técnico del PET es Polietilentereftalato y es un polímero termoplástico derivado del petróleo. Se llama polímeros termoplásticos a aquellos que tienen la capacidad de ser moldeados varias veces más, después de su primera forma final sin degradarse ni descomponerse.

Como todos sabemos, el uso de las botellas de PET en el mundo ha venido creciendo inmensamente en los últimos 35 años dada su utilidad, porque el PET ha probado ser un recipiente confiable para bebidas y es por esto que se calcula que en 2007 se utilizaron en el mundo, 16.8 millones de toneladas de PET como envase para bebidas, con un crecimiento anual de 6%. Si consideramos que para una botella de 2 L de refresco se utilizan tan sólo 35 gramos, estaríamos hablando de 480 mil millones de botellas, una cifra extraordinaria.

Muchas de las ventajas de los productos plásticos se convierten en una desventaja en el momento que desechamos ya sea el envase porque es descartable o bien cuando tiramos objetos de plástico porque se nos han roto, por sus características los plásticos generan problemas en la recolección, traslado y disposición final. Algunos datos nos alertan sobre esto. Por ejemplo, un camión con una capacidad para transportar 12 toneladas de desechos comunes, transportará apenas 6 ó 7 toneladas de plásticos compactado, y apenas 2 de plástico sin compactar.

Si bien los plásticos tipo PET podrían ser reutilizados o reciclados, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades. Es realmente una tarea costosa y compleja para los municipios encargados de la recolección y disposición final de los residuos ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan.

El problema radica en que, según la ONU, cuatro de cada cinco botellas de PET utilizadas van directamente a los basureros. Esto significa que solamente el 20% del PET utilizado se recicla y esto es verdadero para países con alta conciencia ecológica como Alemania donde se recicla el 19%. El problema está en países como el nuestro, donde se estima que se recicla del 7 a 9%.

Las empresas, buscando reducir costos y amparadas en la falta de legislación, vienen sustituyendo los envases de vidrio por los de plástico retornables en un comienzo, y no retornables posteriormente. Esta decisión implica un permanente cambio en la composición de la basura.

En Ecuador, analizando las cifras, el Servicio de Rentas Internas (SRI) ha dado a conocer que, desde enero de 2012, esta práctica sustentable ha dejado una recaudación de \$14 millones, así como una devolución de \$8 millones.

Según el Programa Nacional de Desechos Sólidos, del Ministerio del Ambiente (MAE), los montos mencionados, traducidos a botellas recicladas, representa 1136 millones de envases. Frente a las producción de botellas durante 2012 (1406 millones) lo recolectado hasta ahora representa el 80%.

Datos de la Cepal (Comisión Económica para América Latina) indican que la dimensión que adquirió la actividad de reciclar, reflejada en dólares y botellas recuperadas, fue posible a que, solo en 2012, en Ecuador se formalizaron 16 centros de acopio y se conformaron 10 empresas para transformar los desechos PET. Esto significa convertir el plástico en materia prima, para volverla a introducir en procesos productivos, dentro del país o para su exportación.

El consumo de alimentos y bebidas contenidos en envases plásticos tipo PET dentro de la ESPOCH es alto y el reciclaje de mencionados envases es relativamente nulo.

Los primeros equipos destinados a procesar plásticos según nuestra investigación y realizados a escala de laboratorio de los que se tiene registro en el Ecuador son patrimonio intelectual de memorias de grado pertenecientes a: CHAPA, O. & MARTINEZ, E. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica. PAREDES, R. Escuela Superior Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2006.

SAMANIEGO, M & ESTRADA, E, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. 2012.; cuyo funcionamiento es similar al equipo diseñado para este trabajo de graduación.

JUSTIFICACIÓN

La elevada producción de botellas PET lleva consigo el cómo reutilizar o reciclar los productos desechados y por este motivo el planteamiento de diseñar y construir un equipo triturador de botellas plásticas para el laboratorio de Operaciones Unitarias

Un ejemplo muy singular del uso de estas botellas es en el consumo de bebidas; la mayoría de las personas consume una cantidad considerable de bebidas contenidas en envases de plástico, comúnmente en plástico Polietileno de Tereftalato (PET) y que después de haber cumplido con su objetivo estos envases son desechados generando así un problema ambiental no solo para la comunidad politécnica sino también para los botaderos de basura en donde estos desechos ocupan grandes espacios y tardándose 350 años en degradarse.

El profesional formado en la Escuela de Ingeniería Química posee los conocimientos acerca de molienda y trituración para diseñar un equipo con características que permita dar solución a la problemática generada por desechos sólidos dentro de la politécnica.

El desarrollo de esta propuesta tecnológica está enfocada en el cambio de matriz productiva del país, con la cual, se está apuntando a diversificar la producción, es decir, generar valor agregado y minimizar impactos ambientales.

El equipo construido, cumple con todos los requerimientos necesarios, se realizará la determinación de las variables del proceso como: eficiencia del equipo, potencia del motor, cálculo de la alimentación, cálculo del tamaño de la tolva de alimentación y descarga.

OBJETIVOS

GENERAL

- Realizar el diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET.

ESPECÍFICOS

- Determinar la producción per cápita de botellas PET en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Caracterizar las botellas de plástico a ser usadas en el proceso.
- Identificar las variables de proceso necesarias para el diseño y construcción del equipo.
- Realizar la validación del equipo.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

1.1 PLÁSTICOS

1.1.1 GENERALIDADES

El plástico es un material sólido sintético o semi-sintético, disponible en una amplia variedad de presentaciones, muy utilizado en la elaboración de productos industriales.

La palabra plástico puede definir, de manera general, a todas las sustancias sin punto fijo de ebullición, que en un intervalo de temperaturas, son flexibles y elásticas y, por lo tanto, moldeables y adaptables a diversas formas y aplicaciones. Aunque en la antigüedad, los objetos plásticos no gozaban de buena reputación, con el tiempo comenzaron a ser indispensables en la vida cotidiana y en la actualidad, el plástico es uno de los materiales más utilizados, existiendo más de 2000 tipos.

Los plásticos son polímeros, es decir, estructuras compuestas por miles de moléculas. Algunas veces plástico y polímero son usados como sinónimos, pero, en realidad, la palabra plástico define a cualquier material moldeable, mientras, polímero, define a la sustancia molecularmente. Es por ello que existen otros polímeros además de los plásticos, como el almidón, el ADN y otros. Todos los plásticos comerciales conocidos son polímeros. La mayoría se compone de polímeros de carbono e hidrógeno y otros también tienen de nitrógeno, cloro y azufre. Muchos plásticos comerciales tienen una base de silicio.

El plástico se puede clasificar por su estructura química, según la columna del polímero y sus cadenas. Algunos grupos importantes son los acrílicos, los poliésteres, las siliconas, los poliuretanos, etc. También se pueden clasificar según su calidad para la fabricación o diseño del producto. Se encuentran algunos como los termoplásticos, los termoestables, los elastómeros, los conductores de electricidad, entre otros. Además, se pueden diferenciar por su densidad, tracción, resistencia a productos químicos, etc. Los plásticos se caracterizan por ser fáciles de manipular, versátiles, impermeables al agua y de relativo bajo costo, características que los hacen materiales ampliamente usados para elaborar una gran cantidad de productos. Debido a ello, han desplazado a otros muchos

materiales como madera, piedra, hueso, cuero, papel, metal, vidrio y cerámica. Sin embargo, aunque pueden ser elaborados para conducir la electricidad, no pueden reemplazar al cobre o al aluminio en ese campo. Además, son muy caros para reemplazar a la madera, la cerámica y el concreto en objetos más grandes como pequeños edificios, puentes, pavimento, vigas, etc.


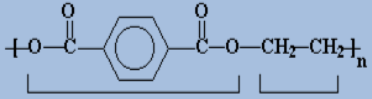


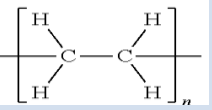


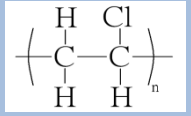


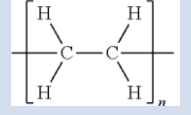


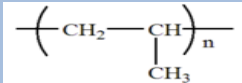


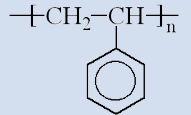


Lamentablemente, una de las características más apreciadas del plástico, que es su durabilidad, es también un factor de preocupación debido a la contaminación que provoca al ambiente. Su degradación puede durar hasta 300 años, lo que provoca que los numerosos objetos hechos de este material se acumulen, especialmente las bolsas y otros objetos que comúnmente son desechados. Se agrava aún más por haber cada vez más objetos desechables de plástico.

También el mar es afectado al haber muchos objetos flotando en su superficie. Eso provoca contaminación y también problemas a la fauna marina, que por error los pueden consumir o también atascarse, provocando incluso la muerte de esos seres vivos. La ciencia y la tecnología están trabajando para que esto pueda cambiar mediante el reciclaje y la elaboración de productos biodegradables.

1.1.2 CLASIFICACIÓN

Los envases de plástico muestran los códigos o números establecidos para la identificación de este material. Estos códigos se encuentran en el fondo de los envases con el símbolo de reciclaje y el número que establece el tipo de plástico.

CUADRO 1.1.2 – 1
CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS

CÓDIGOS	NOMBRE	ABREVIATURA	FÓRMULA	APLICACIÓN	IMAGEN
	Tereftalato de polietileno	PET		Se utiliza mayormente en la fabricación de bebidas suaves y refrescos.	
	Polietileno de alta densidad	HDPE		Una gran cantidad de productos son elaborados de este tipo de plástico. Es el más común en los productos del consumidor: botellas para la leche, agua, detergentes, suavizadores de ropa y blanqueadores.	
	Cloruro de polivinilo	PVC		Se utiliza para fabricar envases aceites cosméticos, enjuagadores bucales, mangueras de jardín, cortinas de baño, tarjetas de crédito.	
	Polietileno de baja densidad	LDPE		Cosméticos y ciertos productos de aseo personal. Bolsas plásticas para emparedados y bolsas transparentes de lavanderías.	
	Polipropileno	PP		En las tapas plásticas de los envases, en la fabricación de sorbetos y alfombras	
	Poliestireno	PS		Es utilizado en la producción de espuma plástica. Vasos o tazas de bebidas calientes.	
	Plásticos mezclados	-	-	Incluye una gran variedad de productos como plásticos mixtos.	-

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

1.1.3 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS PLÁSTICOS

1.1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades mecánicas de los plásticos tienen una estrecha relación con la temperatura. Al aumentar ésta, las resistencias disminuyen. Esto es particularmente cierto para los termoplásticos, que se reblandecen a elevadas temperaturas y se endurecen y vuelven más rígidos al enfriarse. Cuando se emplean termoplásticos debe tenerse en cuenta las temperaturas de utilización. Aumentar la producción de plastificante puede tener el mismo efecto que aumentar la temperatura. Los termoestables debido a su estructura interconectada en retícula, son un poco menos afectados por los cambios de temperatura, si bien algunos pueden reblandecerse y endurecerse moderadamente al aumentar y disminuir las temperaturas. Los plásticos laminados y reforzados con base termoestable son menos afectados debido a que están estabilizados por el material refuerzo. La variación de carga afecta a la resistencia. Al igual que muchos otros materiales, tales como la madera y el hormigón armado, muchos plásticos pueden aguantar cargas elevadas en tiempos de carga cortos o rápidos, que cuando se aplican lentamente o se dejan en carga durante largos periodos de tiempo.

TABLA 1.3.3.1- 1
DENSIDAD DE MATERIALES PLÁSTICOS

No.	MATERIAL	DENSIDAD
1	ABS	1,04 – 1,06
2	ACETATO DE CELULOSA	1,25 – 1,35
3	COPILOMEROS ESTIRENO ACRILONITRITO SAN	1,06 – 1,10
4	PA 6	1,12 – 1,15
5	PA 66	1,13 – 1,16
6	PAN	1,14 – 1,17
7	PEBD	0,89 – 0,93
8	PEMD	0,93 – 0,94
9	PEAD	0,94- 0,98
10	PET	1,38 – 1,41
11	PP	0,85 – 0,92
12	PS	1,04 – 1,08
13	PTFE	2,10 – 2,30
14	PVD RIGIDO	1,38 – 1,41
15	PVC (40% PLASTIFICANTE)	1,19 – 1,35
16	PMMA	1,16 – 1,20
17	POLICARBONATO DE BISFENOL A	1,20 – 1,22

FUENTE: RICHARDSON & LOKENSGARD, INDUSTRIA DEL PLÁSTICO, PLÁSTICO INDUSTRIAL.

CUADRO 1.3.3.1 – 1
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS PLÁSTICOS

PROPIEDADES FÍSICAS	MECÁNICAS	Elasticidad	Propiedad para deformarse bajo la acción de una fuerza y volver a su forma original cuando desaparezca la fuerza aplicada.
		Plasticidad	Propiedad para deformarse después de haber actuado sobre él una fuerza, o sea no vuelve a su forma original al desaparecer la fuerza aplicada
		Rigidez	Se refiere a la rotura o fractura. Se distinguen resistencia a la tracción, a la presión, a la flexión, al corte o cizalladura y a la torsión.
		Dureza	Resistencia que opone a la penetración en él de otro objeto
		Fragilidad	Propiedad de un material que se rompe sin variar su forma.
		Tenacidad	Propiedad inversa de la fragilidad. Los materiales tenaces presentan considerables deformaciones plásticas bajo la acción de una fuerza antes de llegar a romperse.
	TÉRMICAS	Punto de fusión	Temperatura a la que el cuerpo sólido se convierte en líquido.
		Punto de ebullición	Temperatura a la que el cuerpo líquido se convierte en gaseoso.
		Dilatación térmica	Es el incremento de volumen al aumentar la temperatura. En los cuerpos sólidos se suele emplear también el coeficiente de la dilatación lineal.
		Capacidad calorífica	Cantidad de calor necesaria para calentar un material. Si se refiere a la unidad de masa se denomina CALOR ESPECÍFICO.
		Conductividad térmica	Propiedad de un material de conducir el calor a su través.
	ELÉCTRICAS	Conductividad eléctrica	Propiedad por la que conduce la corriente eléctrica
		Resistencia a las corrientes de fugas	Resistencia que presentan los materiales aislantes a las corrientes que circulan por la superficie del objeto.
	MAGNÉTICAS	Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable
		Magnetismo residual	Nivel de inducción magnética aun existente en una sustancia ferromagnética después de someterla a la acción de un campo magnético. Es decir dicha propiedad en los plásticos es muy baja.
ÓPTICAS	Color	si se añaden pigmentos a la composición, se pierde la claridad, el material se vuelve translucido en vez de transparente, pudiendo reducirse la transmisión luminosa hasta un punto de total opacidad. En una clase típica de material translucido blanco, la transmisión de la luz visible puede variar desde un valor tan elevado como el 80% a uno tan bajo como el 4%.	
	Brillo	Capacidad de un plástico de reflejar la luz.	
	Transparencia	Material presenta transparencia cuando deja pasar fácilmente la luz. La transparencia es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades. Se dice, en cambio, que un material es translúcido cuando deja pasar la luz de manera que las formas se hacen irreconocibles, lo contrario que es opaco, es cuando no deja pasar de manera apreciable la luz.	
PROPIEDADES QUÍMICAS	Resistencia a la corrosión	Propiedad de los materiales que oponen a su destrucción por reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente.	
	Resistencia a los ácidos y bases	Los plásticos resisten ácidos y bases desde concentraciones bajas hasta concentraciones elevadas.	
	Resistencia al descascarillado	Se refiere a la acción del aire y de gases de hornos a elevadas temperaturas.	

FUENTE: FREIRE L. /GONZÁLEZ C., 2013

1.1.4 APLICACIONES Y USOS DE LOS PLÁSTICOS

En la actualidad el plástico es empleado en nuestra vida cotidiana, ha sustituido partes metálicas en la industria automotriz, se usa en la construcción, en empaques, electrodomésticos como lavadoras, licuadoras, refrigeradores, etc. y en un futuro no muy lejano irá entrando en otras ramas de la industria, por ejemplo en medicina, como sustitutos de articulaciones (articulaciones artificiales), los juegos de toda índole y en artículos deportivos, como pueden ver la rama del plástico está en proceso de crecimiento. Ya que es común observar piezas que anteriormente eran producidas con otros materiales, por ejemplo con madera o metal y que ya han sido substituidas por otras de plástico. También se usan en decoración, arquitectura, incluso en la moda. Su producción aumenta cada año y se dice que es el material del siglo XXI.

1.2 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

1.2.1 INTRODUCCIÓN

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático. Su denominación técnica es polietiléntereftalato o politereftalato de etileno y forma parte del grupo de los termoplásticos, razón por la cual es posible reciclarlo. El PET (polietiléntereftalato) perteneciente al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres, fue descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto. Recién a partir de 1946 se lo empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se lo comenzó a emplear en forma de film para el embasamiento de alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976; pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para el embotellado de bebidas carbonatadas.

1.2.2 PRODUCCIÓN DE PET

El camino para casi cualquier plástico producido hoy en día es por medio de plantas petroquímicas, la mayoría de polímeros son el fin del producto de refinación y reformación

del petróleo. Los productos petroquímicos son el 2,7% en volumen de cada barril de petróleo crudo. El dimetilbenceno, conocido comúnmente como xileno, es un importante químico industrial. Ellos son utilizados en la manufactura de tintas, la producción de ácido benzoico y entre otros el ácido tereftalático puro (PTA). Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno.

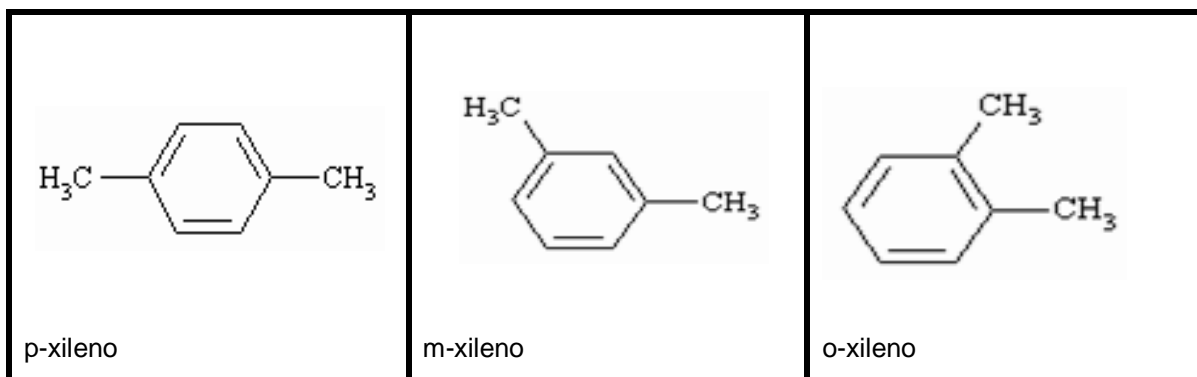


Fig. 1.2.2 - 1 TIPOS DE XILENOS

Los xilenos se encuentran en los gases de coque, en los gases obtenidos en la destilación seca de la madera (de allí su nombre: xilon significa madera en griego) y en algunos petróleos. Este es usado en la reacción de polimerización, produciendo una larga familia de poliésteres. El polietilentereftalato (PET) es uno de ellos, éste comienza con los isómeros (variaciones de la molécula de un compuesto) del xileno. El primer paso es recuperar el para-xileno utilizado para la producción de polímeros. Los tres isómeros del xileno, orto, meta y para-xileno, se separan a través de los puntos de ebullición.

TABLA 1.2.2 – 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE XILENO

XILENOS	ORTO	META	PARA
Punto de ebullición	144°C	139.3°C	137-138°C
Punto de solidificación	-25°C	-47.4°C	13-14°C

FUENTE: RICHARDSON & LOKENSGARD, INDUSTRIA DEL PLÁSTICO, PLÁSTICO INDUSTRIAL.

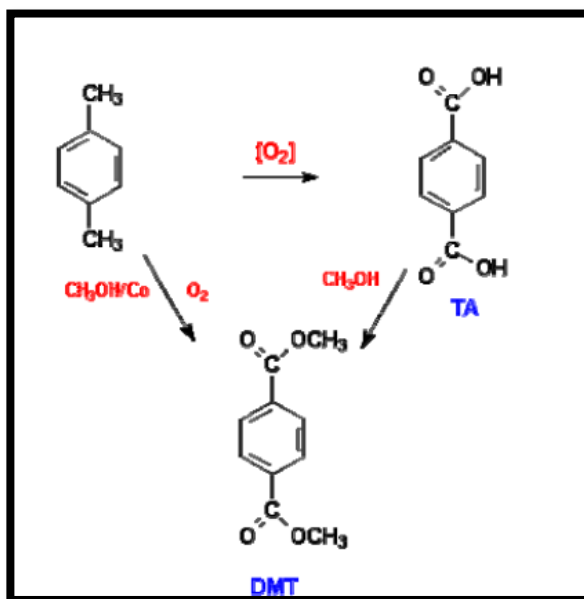
1.2.2.1 POLIMERIZACIÓN

El para-xileno recuperado del petróleo crudo y producido a través de la conversión de reacciones es solo uno de los materiales para la síntesis del PET. El otro compuesto necesario es el etileno, el cual es recuperado de la refinación del petróleo crudo. El etileno es tratado con oxígeno en presencia de plata como catalizador para producir óxido de etileno, el cual, reacciona con el agua en presencia de un ácido para producir etilenglicol, uno de los monómeros necesarios para la producción de PET. La reacción es la siguiente:



Rx. 1.2.2.1 – 1 FORMACIÓN DE ETILENGLICOL A PARTIR DE ETILENO

El p-xileno es oxidado para producir el ácido tereftálico (TA) que es posteriormente esterificado a tereftalato de dimetilo (DMT). Esto puede lograrse mediante una secuencia de dos pasos en donde la oxidación es llevada a cabo por un catalizador de cobalto en presencia de metanol. Ambas reacciones se muestran a continuación. La esterificación es el proceso por el cual se sintetiza un éster, que es un compuesto derivado de la reacción química entre un oxácido y un alcohol.

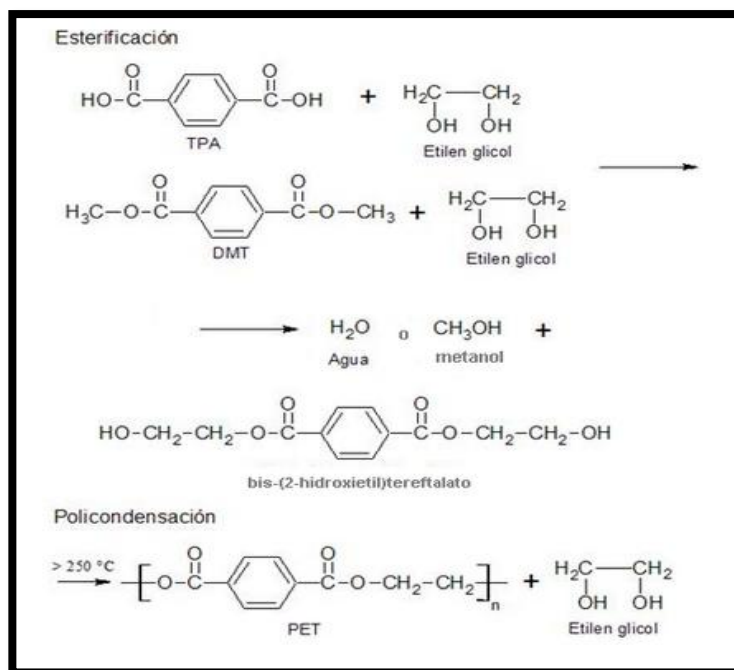


Rx 1.2.2.1 - 2 PROCESO DE ESTERIFICACIÓN

Industrialmente, se puede partir de dos productos intermedios distintos:

- TPA ácido tereftálico
- DMT dimetiltereftalato

Haciendo reaccionar por esterificación TPA o DMT con glicol etilénico se obtiene el monómero bis-(2-hidroxietil) tereftalato, el cual en una fase sucesiva, mediante policondensación, se polimeriza en PET según el esquema.



Rx 1.2.2.1 – 3 ESQUEMA DE ESTERIFICACIÓN Y POLICONDENSACIÓN DEL PET

En la reacción de esterificación, se elimina agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT. La reacción de policondensación se facilita mediante catalizadores y elevadas temperaturas (arriba de $270\text{ }^\circ\text{C}$). La eliminación del glicol etilénico es favorecida por el vacío que se aplica en el reactor; el glicol recuperado se destila y vuelve al proceso de fabricación. Cuando la masa del polímero ha alcanzado la viscosidad deseada, registrada en un reómetro, se romperá el vacío, introduciendo nitrógeno al reactor. En este punto se detiene la reacción y la presencia del nitrógeno evita fenómenos de oxidación. La masa fundida, por efecto de una suave presión ejercida por el nitrógeno, es obligada a pasar a través de una matriz, formando espaguetis que, cayendo en una batea

con agua se enfrían y consolidan. Los hilos que pasan por una cortadora (peletizadora), se reducen a gránulos (pellets), los cuales, tamizados y desempolvados se envían al almacenamiento para el posterior conformado en productos útiles.

El gránulo así obtenido es brillante y transparente porque es amorfo, tiene baja viscosidad, o sea un bajo peso molecular, I.V. = 0,55 a 0,65; para volverlo apto para la producción de botellas serán necesarios otros dos pasos (Cristalización y polimerización en estado sólido).

1.2.2.2 CRISTALIZACIÓN

Con este término se describe el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos y que consiste en el fenómeno físico con el cual las macromoléculas pasan de una estructura en la cual su disposición espacial es desordenada (estructura amorfa, transparente a la luz) a una estructura uniforme y ordenada (estructura cristalina, opaca a la luz) que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El proceso industrial consiste en un tratamiento térmico a 130-160°C, durante un tiempo que puede variar de 10 minutos a una hora, mientras el gránulo, para evitar su bloqueo, es mantenido en agitación por efecto de un lecho fluido o de un movimiento mecánico. Con la cristalización, la densidad del PET pasa de 1,33 g/cm³ del amorfo a 1,4 del cristalino.

1.2.2.3 POLIMERIZACIÓN EN ESTADO SÓLIDO O POST POLIMERIZACIÓN

El granulo cristalizado se carga en un reactor cilíndrico en cuyo interior, durante tiempos muy largos, es sometido a un flujo de gas inerte (nitrógeno) a temperatura elevada (sobre los 200°C). Este tratamiento causa una reacción de polimerización que hace aumentar posteriormente el peso molecular de la resina hasta los valores correspondientes de I.V. (0,72 – 0,86) idóneos para la fabricación de la botella. El aumento de la viscosidad intrínseca es directamente proporcional al aumento del peso molecular.

En esta reacción, mientras se ligan las moléculas, es eliminado parte del acetaldehído que se forma en la primera polimerización. Un buen polímero tiene valores de A.A inferiores a 1 ppm. De estos reactores, se descarga PET de elevado porcentaje de cristalinidad (>50) con viscosidad Grado para Botella ("Bottle Grade").

1.2.3 PROPIEDADES

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Este polímero no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos.

El PET presenta las siguientes propiedades:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia (aunque admite cargas de colorantes) y brillo con efecto lupa.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Biorientable
- Cristalizable.
- Esterilizable por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo / performance.
- Se encuentra ranqueado como No.1 en reciclado.
- Liviano.

TABLA 1.2.3 – 1
DATOS TÉCNICOS DEL PET

Nº	PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
1	Densidad	g/cm ³	1,34 – 1,39
2	Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
3	Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
4	Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 – 0,04
5	Dureza	--	Rockwell M94 – M101
6	Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15,2 – 24
7	Resistencia al calor	°C	80 – 120
8	Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
9	Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3,65
10	Absorción de agua (24 h)	%	0,02
11	Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
12	Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
13	Calidad de mecanizado	--	Excelente
14	Calidad óptica	--	Transparente a opaco
15	Temperatura de fusión	°C	244 – 254

FUENTE: RICHARDSON & LOKENSGARD, INDUSTRIA DEL PLÁSTICO. PLÁSTICO INDUSTRIAL.

1.2.4 APLICACIONES

a) Envase y empaque

Por su impermeabilidad a los gases, el PET abarca casi el 100% del mercado de botellas retornables y no retornables para bebidas carbonatadas. Las firmas de maquinaria han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de manera rápida de los envases, por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros. Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias.

Entre los múltiples usos dados al PET, debido a su durabilidad, estabilidad dimensional e insensibilidad a la humedad excelentes, sobresale el destino que se le ha dado en la fabricación de envases de bebidas carbonatadas y de empaques de alimentos pues, no deteriora ni causa efectos de toxicidad a estos productos.

La participación del PET dentro de este mercado es en:

- Bebidas Carbonatadas
- Agua Purificada
- Aceite
- Conservas
- Cosméticos
- Detergentes y Productos Químicos
- Productos Farmacéuticos

b) Electro-electrónico

Este segmento abarca diversos tipos de películas y aplicaciones desde las películas ultradelgadas para capacitores de un micrómetro o menos hasta de 0,5 milímetros, utilizadas para aislamiento de motores.

Debido a su alta resistencia dieléctrica y mecánica, el PET se utiliza como aislante de ranuras y fases en motores, condensadores, bobinas y transformadores. Así también ha servido para ser utilizado en la fabricación de conectores eléctricos de alta densidad,

bloques terminales, circuitos integrados y partes electromecánicas, reemplazando de este modo a los materiales termoestables.

c) Fibras (telas tejidas, cordeles, etc.)

En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir. La ropa hecha con esta fibra es resistente a arrugarse. Estas fibras son conocidas como Dacron y Fortrel y son ampliamente usadas en bienes de consumo como ropa y telas. También se realiza, con el PET, telas no tejidas.

Debido a su resistencia, el PET se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones, hilos de costura y refuerzo de llantas. Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia química permite aplicarla en cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales.

El poliéster tiene también una aplicación médica, debido a su fuerza es utilizado en cirugías de reconstrucción de tejidos dañados.

d) Aplicaciones en la industria mecánica

El PET se utiliza en la fabricación de repuestos que necesitan superficies duras, planas y buena estabilidad dimensional. Por ejemplo en engranajes, levas, cojinetes, pistones y en bastidores de bombas que soportan elevadas fuerzas de impacto. Los compuestos reforzados de PET (PRFV) son usados para fabricar tapas de distribuidores y componentes de pintura exterior para automóviles.

e) Otras aplicaciones

Se utiliza para bandejas de horno convencional o microondas, pero su principal uso es en botellas. También se utiliza en monofilamentos para fabricar cerdas de escobas y cepillos.

CUADRO 1.2.4 – 1
APLICACIONES COMUNES DEL PET

¿CÓMO SE USA EL PET?	
FIBRA	ALFOMBRA
	ROPA
	TELAS PARA DECORACIÓN
EMPAQUE	BEBIDAS (GASEOSAS, AGUA MINERAL, JUGOS, ETC)
	COMIDA
	PERFUMERIA
	PRODUCTOS PARA EL HOGAR
	LICORES
	PRODUCTOS FARMACEUTICOS
FILM	RADIOGRAFÍAS, TAPES DE VIDEO Y AUDIO

FUENTE: RICHARDSON & LOKENSGARD, INDUSTRIAL DEL PLÁSTICO, PLÁSTICO INDUSTRIAL.

1.3 RECICLAJE

1.3.1 DEFINICIÓN

El reciclaje consiste en someter un material o producto ya utilizado a un nuevo ciclo de tratamiento total o parcial, para obtener una materia prima o un nuevo producto.

También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos en el ciclo de la reutilización, esto produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los desechos.

1.3.2 RECICLAJE EN EL PAÍS

“En el país como una medida ambiental sobre el tratamiento adecuado de las botellas de plástico desechables, el ‘impuesto verde’ busca que los consumidores recuperen \$0,02

por cada botella a través del reciclaje. Sin embargo, poco se conoce sobre dónde llevar dichos plásticos para su tratamiento.

En el país se recicla por año cerca de 80000 toneladas de materiales elaborados con polietileno y PET (usados para envases de bebidas).

En una entrevista realizada por la agencia Andes, la ministra del Ambiente Marcela Aguiñaga aseguró que en Ecuador se fabrican 1400 millones de botellas y apenas el 39% de esa cifra se recicla.

Hoy en Ecuador existen unas 2000 microempresas que se dedican a la recolección y tratamiento de materiales reciclables, pese a ello no hay campañas de información para los ciudadanos sobre dónde acudir.

Según datos de Reciplástico, empresa que se dedica al reciclaje a nivel nacional, allí se reciclan 670000 toneladas de material, entre papel, cartón, metal, plástico y vidrio. El 53% corresponde a metales ferrosos y apenas el 12,2% para resinas plásticas.

Para los empresarios que se dedican a esta tarea, los precios de la materia virgen frente al reciclado no convencen. Una tonelada de PET virgen se cotiza entre \$1600 y 2000 en Ecuador, mientras que ese material reciclado se vende hasta en \$1200 y 1300 por tonelada. Los expertos aseguran que las empresas poco usan PET reciclado.

En otros países hay conciencia y las leyes de los gobiernos obligan a que las empresas usen plásticos peletizados (lavados, molidos y seleccionados) porque ayuda a preservar el medio ambiente. Aquí, la exportación es la que salva al sector de reciclaje, porque el industrial no está obligado a utilizar en su producción materia reciclada.

Solo en PET, el país importó 47000 toneladas en 2010. De esas, el 70% se utilizó para la elaboración de botellas para el consumo de agua y bebidas no alcohólicas.

De las 47 mil toneladas de plástico, se reciclaron 22000 que no fueron consumidas por la industria.

En el 2010 la industria importó 302100 toneladas de resinas plásticas.

En los primeros seis meses del 2011 se compró al exterior 85887 toneladas de polietileno y PET.”¹

1.3.3 EL RECICLAJE DEL PLÁSTICO

Principalmente se debería minimizar el volumen y peso de los residuos para resolver el problema global de los mismos. Toda gestión de los residuos plásticos debe comenzar por la reducción en la fuente.

La reducción en la fuente se refiere directamente al diseño y a la etapa productiva, principalmente de envases antes de ser consumidos. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos. Y esto es aplicable a todas las materias primas: vidrio cartón, aluminio y plásticos.

En el caso de los residuos plásticos, la reducción en la fuente es responsabilidad de la industria petroquímica (fabricante de los diferentes tipos de plásticos), de la industria transformadora (que toma esos plásticos para fabricar los diferentes productos finales) y de quien diseña el envase (envasador).

También podría decirse que al consumidor le corresponde una buena parte de la responsabilidad, ya que es quien tiene la facultad de elegir entre un producto que ha sido concebido con criterio de reducción en la fuente y otro que derrocha materia prima y aumenta innecesariamente el volumen de los residuos.

La principal ventajas de la reducción en la fuente:

- Disminuye la cantidad de residuos, es mejor no producir residuos que resolver que hacer con ellos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales, energía, materia prima y recursos financieros.
- La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero.

¹ABAD, F. Dónde reciclar el plástico., 2012. p. 1.
<http://sn.//www.metroecuador.com.ec/19603-estado-exige-reciclar-el-plastico-pero-donde.html>

- Requiere menos energía transportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que implica a su vez menor agresión al ambiente.

Para el reciclaje de plásticos se deben separar los distintos tipos de plásticos en fracciones individuales. Luego existen dos opciones para el reciclaje de plásticos, mecánica o químicamente.

1.3.3.1 QUÉ ES UN PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Es un conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de manejo de los residuos sólidos. La meta es realizar una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada.

1.3.3.1.1 SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Básicamente el sistema de manejo de los residuos sólidos se compone de cuatro subsistemas:

- **Generación:** Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material.
- **Transporte:** Es aquel que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de residuos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.
- **Tratamiento y disposición:** El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario.
- **Control y supervisión:** Este sub sistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres subsistemas.

1.3.3.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS

1.3.3.2.1 PRODUCCIÓN PER CÁPITA

La producción de residuos sólidos es un variable que depende básicamente del tamaño de la población y sus características socioeconómicas.

Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada producción per cápita (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo, siendo la unidad de expresión el Kilogramo por persona por día. (Kg/persona/día).

1.3.3.2.2 ESTIMACIÓN TEÓRICA DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA

La PPC es un parámetro que evoluciona en la medida que los elementos que la definen varían. En términos gruesos, la PPC varía de una población a otra, de acuerdo principalmente a su grado de urbanización, su densidad poblacional y su nivel de consumo o nivel socioeconómico. Otros elementos, como los periodos estacionales y las actividades predominantes también afectan la PPC.

Es posible efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión:

$$PPC = \frac{Kg\text{recolectados}}{Número\text{depersonas}}$$

Ec. 1.3.3.2.2 – 1

1.3.3.3 SISTEMASDE RECICLADO

Hay tres maneras de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía. El ciclo de vida se muestra en este diagrama:

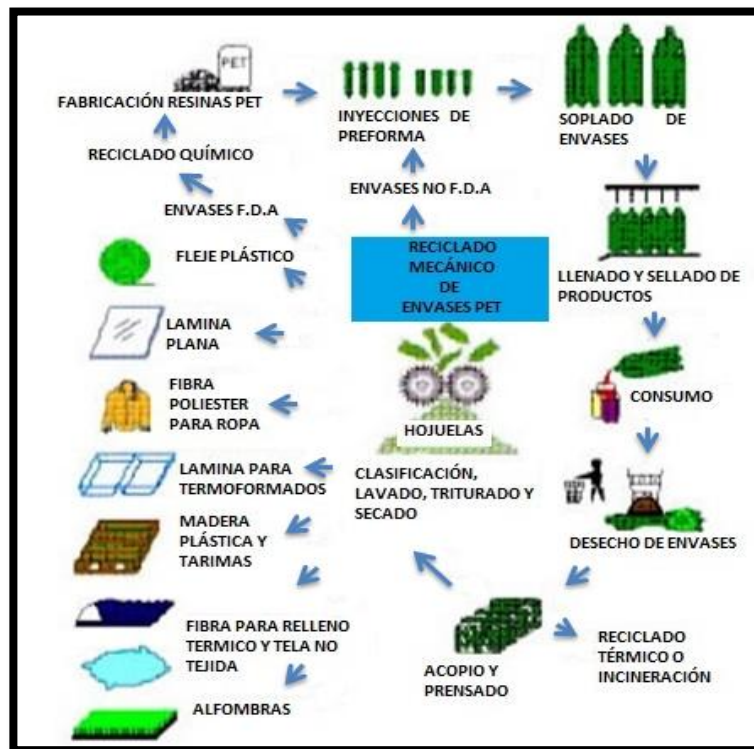


Fig. 1.3.3.3 – 1 CICLO DE VIDA DE LOS ENVASES PET

Con el fin de maximizar la utilidad que producen los plásticos, se han desarrollado técnicas que los separan según sus tipos. Estas técnicas se agrupan en las siguientes categorías:

Macro selección de componentes:

Es aquella labor primaria que permite seleccionar y agrupar manual o automáticamente los artículos desechados de acuerdo con su naturaleza y destino. Un ejemplo de lo afirmado es la separación de las botellas PET que se utilizan en los refrescos de las PE-HD que se emplean en el envasado de leche.

La selección de los polímeros con fines de reutilizarlos se realiza, en parte, empleando la codificación y recomendaciones dadas por la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI), que clasifica a los polímeros en siete categorías.

La identificación y agrupación de los polímeros mencionados se efectúa identificando al código que se encuentra moldeado o impreso, en el producto respectivo, dentro de un

triángulo visible así mismo moldeado o impreso tal como se aprecia en los envases plásticos de gaseosas y en los envases Tetrapak.

Microselección de componentes:

La microselección anotada implica separar los polímeros en función de sus tipos, después de haber sido cortados y triturados en pequeños trozos. Actualmente la microseparación comercial se aplica a las botellas PET de refrescos ya que es posible triturar la botella y separar los trozos de PET y de PE-HD para obtener un producto de alta calidad. Este procedimiento implica utilizar una tecnología de flotación extraída de la industria minera en la que los materiales se separan por flotación aprovechando las diferencias de densidad. La tecnología de hidrociclones, empleando la fuerza centrífuga para acelerar la separación gravitacional, puede aplicarse con bastante eficacia para separar polímeros en base a su densidad dentro de un medio acuoso.

Otra tecnología que presenta algún potencial para separar materiales a nivel micro es la trituración criogénica en la que los polímeros se fracturan de forma distinta a temperaturas diferentes mediante su inmersión en nitrógeno líquido. Se puede provocar la fractura de los polímeros disímiles, y mediante ello, se posibilita la separación de materiales genéricos partiendo de una mezcla.

Selección molecular:

Este método de reciclaje consiste en separar los polímeros, por ejemplo algunos embalajes modernos que tienen uno o más de ellos, mediante sus disoluciones en una solución. El procedimiento se basa en la temperatura de disolución que tiene cada polímero que al final permite recuperarlos en capas.

Otro tipo de separación molecular consiste en despolimerizar el polímero en su monómero original. Algunos ésteres polímeros, como por ejemplo el tereftalato de polietileno (PET) y los metil – metacrilatos, se prestan a esta aproximación.

1.3.3.3.1 RECICLADO MECÁNICO

El reciclado mecánico es la conversión de los desechos plásticos post-industriales o post-consumo en gránulos que pueden ser reutilizados en la producción de otros productos,

dicho reciclado hace posible obtener diferentes plásticos en determinadas proporciones o productos compuestos por un único tipo de plásticos. El reciclaje mecánico consta de las siguientes etapas:

- Trituración
- Remoción de contaminantes
- Lavado
- Secado
- Aglutinado
- Extrusión para formar pellets

Trituración

El plástico es fragmentado en pequeñas partes con un molino especial.

Remoción de contaminantes

En esta etapa son removidos los diferentes tipos de contaminantes por ejemplo etiquetas, papel y otros contaminantes.

Lavado

Después de la remoción de contaminantes, el plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad. Es preciso que el agua de lavado reciba un tratamiento para su reutilización o emisión como afluente.

Secado

En esta etapa se retira el agua que se encuentra como centrifugado, aquí el material pasa por una centrifuga la cual retira el exceso de agua.

Aglutinación

Además de completar el secado, el material es compactado, reduciéndose así el volumen que será enviado a la extrusora. La fricción de los fragmentos contra la pared del equipo rotativo provoca el aumento de la temperatura, formándose así una masa plástica. El aglutinador también se utiliza para la incorporación de aditivos, tales como cargas, pigmentos y lubricantes.

Extrusión

La extrusora funde y vuelve a la masa plástica homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale un “espagueti” continuo que es enfriado con agua. Enseguida el “espagueti” es picado en un granulador transformando en pellets (granos de plásticos).

1.3.3.3.1.1 PROPIEDADES DEL PET RECICLADO MECÁNICAMENTE

Las diferencias en las propiedades del PET reciclado mecánicamente comparadas con las del PET virgen pueden ser atribuidas principalmente a la historia térmica adicional experimentada por el material reciclado, la cual da como resultado un decremento en el peso molecular, junto con un incremento en el ácido carboxílico, color y nivel de acetaldehído.

Estudios han demostrado que el RPET (PET reciclado) posee un módulo de Young menor, mayor elongación a la rotura y mayor resistencia al impacto que el PET virgen. Así, el RPET es más dúctil mientras el PET virgen es más frágil; este es un resultado de las diferencias en la cristalinidad entre los materiales.

TABLA 1.3.3.3.1.1 – 1
CARACTERISTICAS DEL PET Y RPET

Nº	PROPIEDAD	PET VIRGEN	RPET
1	Modulo de Young (MPa)	1890	1630
2	Resistencia a la rotura (MPa)	47	24
3	Elongación a la rotura (%)	3,2	110
4	Resistencia al impacto (Jm ⁻¹)	12	20
5	IV (dl g ⁻¹)	0,72 – 0,84	0,46 – 0,76
6	Temperatura de fusión (°C)	244 – 254	247 – 253
7	Peso molecular (g. mol ⁻¹)	81600	58400

FUENTE: POLYMER RECYCLING, RECYCLING OF PET.

1.3.3.3.1.2 RECICLADO QUÍMICO

El reciclado químico trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente en materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos.

El reciclado químico comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recurso y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. Dando origen a productos finales de muy buena calidad. Los principales procesos existentes son:

Pirólisis

Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

Hidrogenación

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

Gasificación

Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtiene los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que no pueden ser utilizados para la producción de metanol o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

Quimiólisis

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poli acetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la recopilación en nuevos plásticos.

Metanólisis

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en moléculas básicas. Incluido el dimetilterftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonatadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst – Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en fabricación de nuevas botellas de PET.

Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la Quimiólisis y la Metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio la pirolisis permite utilizar plásticos mixtos.

1.3.3.3.1.3 RECICLADO ENERGÉTICO

En cuanto al uso del PET como combustible alternativo, los envases pueden emplearse para generar energía ya que este material tiene un poder calorífico de 6,3 Kcal/Kg, y puede realizar una combustión eficiente. Esto es posible ya que durante su fabricación no se emplean aditivos ni modificadores, lo cual permite que las emisiones de la combustión no sean tóxicas, obteniéndose tan sólo bióxido de carbono y vapor de agua.

1.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL PET RECICLADO.

El PET generalmente se lo encuentra en diferentes tipos de envases como gaseosas, agua, aceite, shampoo, además como empaques para productos en general. Esto hace que el PET post consumo se encuentre justo mezclado con otros tipos de plásticos como por ejemplo etiquetas de PEAD, tapa de PP y PVC. La presencia de estos plásticos en los artículos a reciclar origina que el PET presente turbidez, como también los adhesivos que en presencia de calor degradan al material disminuyendo su viscosidad.

1.4 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

“El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas pequeñas. Durante los procesos industriales,

la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por diferentes métodos y con distintos fines.

Los sólidos pueden romperse de diversas maneras, pero por lo común solo se utilizan cuatro en los equipos de reducción de tamaño: 1) compresión, 2) impacto, 3) frotación o rozamiento y 4) corte. En general, la compresión se utiliza para la reducción gruesa de sólidos duros, dando lugar relativamente pocos finos; el impacto genera productos gruesos, medios o finos; la frotación produce productos muy finos a partir de materiales blandos no abrasivos. El corte da lugar a un tamaño definido de partículas y en algunas ocasiones también de forma definida, con muy pocos a nada de finos.”²

“Si bien no existe una diferencia clara entre la trituración y la molienda, en general se habla de trituración cuando se fragmentan partículas de tamaños superiores a 1 pulgada (1") (se utilizaran unidades métricas e inglesas pues es común en el desarrollo de la materia la utilización de manuales y catálogos con valores expresados en unidades inglesas) y de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2,54 cm).

La trituración es también denominada desintegración y las máquinas que la producen trituradoras, desintegradoras, quebrantadoras o machacadoras según los diversos autores.”³

1.4.1 EQUIPO PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

El equipo para reducción de tamaño se divide en trituradores, molinos, molinos de ultrafinos y máquinas de corte. Los trituradores realizan el trabajo pesado de romper las piezas grandes de materiales sólidos en pequeños pedazos. Un triturador, en principio, opera con un material extraído de una mina, aceptando todo lo que venga de la mina y rompiéndola en pedazos de 150 a 250 mm (6 a 10 in). Un triturador secundario reduce estos pedazos a partículas quizás de tamaño de 6mm (1/4 in). Los molinos reducen el

² MCCABE, W. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 6 ed. México., Mc Graw., 2002. .p. 673

³ INDUSTRIAS I. Trituración., 2012. p. 3.
http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf

producto del triturado hasta formar un polvo. Un molino ultrafino acepta como alimentación partículas no mayores de 6mm; el tamaño del producto generado es típicamente de 1 a 50 μm . Las cortadoras producen partículas de tamaño y forma definidos, de 2 a 10 mm de longitud.

Estas máquinas realizan su trabajo en formas muy diferentes. La compresión es la acción característica de los trituradores. Los molinos emplean el impacto y el agotamiento, algunas veces combinados con compresión; los molinos ultrafinos operan en principio por agotamiento. Una acción de cortado es por supuesto una característica de cortadoras, troceadoras y rajadores.

1.4.2 ETAPAS DE TRITURACIÓN

Con frecuencia, la capacidad de reducción de una trituradora o molino será insuficiente para asegurar la desintegración total deseada, por lo que se hará necesario efectuarla en dos o más etapas. Para ello se colocan trituradoras o molinos en serie, de modo tal que la materia prima que alimenta una trituradora (o molino) primario, y la descarga de esta alimenta la trituradora (o molino) secundario, y así sucesivamente llamándose las etapas posteriores terciaria, cuaternaria, etc.

Este modo de disposición de maquinarias no solo es utilizado para obtener un mayor grado de reducción en el material, sino que también es utilizado por empresas que comercializan material triturado para optimizar la obtención porcentual de un determinado intervalo de granulometría.

1.4.2.1 TAMAÑOS DE PARTÍCULAS

Tanto la materia prima como la que ha sufrido una o más etapas de reducción, se puede clasificar de acuerdo a su tamaño. En general, se clasifican de la siguiente forma:

- **Material grueso:** trozos de un tamaño mayor a 75 cm (30").
- **Material mediano:** trozos de un tamaño de 10 a 75 cm (4" a 30").
- **Material fino:** trozos de un tamaño menor a 10 cm (4").

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de trituración y molienda.

Seguidamente se detallan las mismas:

a) Trituración (desintegración grosera)

- Trituración gruesa – tamaños de partículas de salida: 15 cm (6").
- Trituración mediana – tamaños de partículas de salida: entre 3 y 15 cm (1¼" a 6").
- Trituración fina – tamaños de partículas de salida: entre 0,5 y 3 cm (1/5" a 1¼").

b) Molienda (desintegración fina)

- Molienda grosera – tamaños de partículas de salida: entre 0,1 y 0,3 mm.
- Molienda fina – tamaños de partículas de salida: menores de 0,1 mm.

La trituración grosera, mediana y fina corresponden, prácticamente, a la primera, segunda y tercera etapa de trituración; mientras que la molienda grosera y fina corresponden a las etapas primaria y secundaria de la molienda.

Los tamaños de partículas se establecen en base a los diámetros de las mismas. Para un trozo de material se puede determinar, midiendo el ancho, espesor y largo del mismo, la media aritmética o geométrica del diámetro de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\text{Tamaño medio aritmético} = \frac{\text{Ancho} \times \text{Espesor} \times \text{Largo}}{3} \quad \text{Ec. 1.4.2.1-1}$$

$$\text{Tamaño medio geométrico} = \sqrt[3]{\text{Ancho} \times \text{Espesor} \times \text{Largo}} \quad \text{Ec. 1.4.2.1-2}$$

Diámetro de una esfera de área proyectada equivalente (da)

Es el diámetro de una esfera que posee igual área proyectada (A) que la partícula que se desea caracterizar. Esta medida depende de la orientación de la partícula al momento de la medición.

$$d_a = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 1.4.2.1-3}$$

Dónde:

A: área, m².

La figura 1.4.2.1 - 1 muestra una proyección de una partícula irregular (trazo azul). Si se establece el área de dicha proyección es posible estimar el diámetro de un círculo equivalente (figura de trazo rojo). La microscopía permite la estimación de da.

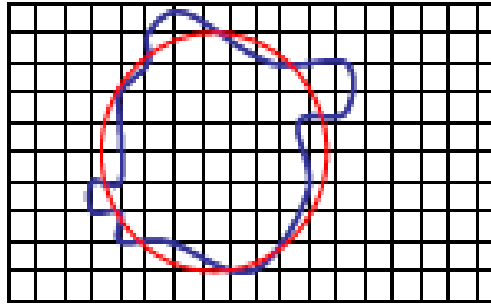


Fig. 1.4.2.1-1 CONCEPTUALIZACIÓN DE AREA PROYECTADA

En realidad, los trozos de materiales constituyen conjuntos de diversos tamaños, por consiguiente resultaría imposible, desde el punto de vista industrial, practicar las mediciones señaladas anteriormente.

En la industria, lo que se hace es clasificar los trozos con una serie de tamices (o zarandas) y, de acuerdo a los tamaños de los agujeros de los tamices, se le equiparan a las partículas dichos tamaños según pasen o no cada tamiz. Posteriormente, el tamaño medio de la muestra se calculara con la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum_i D_i \cdot k_i}{\sum_i k_i}$$

Ec.1.4.2.1-4

Dónde:

D: Diámetro medio de las partículas.

Di: Tamaños de los agujeros de cada tamiz.

ki: Cantidades (en peso) de partículas que pasan cada tamiz.

1.4.2.2 GRADO DE DESINTEGRACIÓN

El coeficiente de reducción que se obtiene en las máquinas de trituración (trituradoras) o de molienda (molinos) se denomina grado de desintegración y se define como la relación entre los tamaños máximos de las partículas a la entrada y salida de la máquina.

El grado de desintegración (Σ) se expresa de la siguiente manera:

$$\Sigma = \frac{D_{inicial}}{D_{final}} \quad \text{Ec.1.4.2.2-1}$$

El grado de desintegración en trituración se encuentra acotado entre 2 y 15.

$$2 \leq \Sigma_{\text{trituración}} \leq 15$$

1.4.3 LEYES DE TRITURACIÓN

1.4.3.1 TEORÍA DE RITTINGER

“En 1867 Von Rittinger postuló su teoría conocida como teoría superficial de desmenuzamiento que establece que la energía suministrada de forma eficaz durante la molienda o desmenuzamiento sería proporcional a la nueva superficie producida durante dicha operación.”⁴

Siendo esta la Ley de Rittinger matemáticamente:

$$W = f(\phi) \quad \text{Ec. 1.4.3.1-1}$$

$$\frac{dW}{d\phi} = K \left(\frac{1}{\phi} \right) \quad \text{Ec. 1.4.3.1-2}$$

$$W = K \left[\left(\frac{1}{\phi_f} \right) - \left(\frac{1}{\phi_i} \right) \right] \quad \text{Ec. 1.4.3.1-3}$$

Dónde:

⁴ **UNIOVI.** Molienda de crudo., 2012., p. 5-6
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.INTRODUCCION.pdf>

W: Potencia del motor (Hp)

K: Constante del Molino

ϕ_f : Diámetro de la partícula después de la desintegración (mm)

ϕ_i : Diámetro de la partícula antes de la desintegración (mm)

1.4.3.2 LEY DE BOND:

Bond propone un método para estimar la potencia requerida para la trituración y molienda basada en el rozamiento semi - teórico, y dice de manera compactada: El trabajo requerido para formar partículas de tamaño a partir de alimentaciones muy grandes es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie - volumen (sp/sv) del producto. Su ecuación es:

$$\frac{P}{m} = \frac{K_b}{\phi_p} \quad \text{Ec.1.4.3.2}$$

Dónde:

P: Potencia necesaria para desintegrar (Hp).

M: Masa del material a desintegrar (Kg)

K_b: Constante que depende del tipo de máquina y del material a desintegrar.

ϕ_p : Tamaño de la partícula (mm)

1.4.3.3 LEY DE KICK

La teoría de Kick (1885) o teoría del desmenuzamiento en volumen o peso se puede enunciar diciendo que el trabajo absorbido para producir cambios análogos en la configuración de dos partículas geoméricamente semejantes y del mismo material sería proporcional a la reducción en volumen (o en masa) de dichas partículas:

$$W = B \log \frac{L_i}{L_f} \quad \text{Ec. 1.4.3.3-1}$$

Donde:

W: Índice de trabajo

B: Constante que depende del tipo de maquina y del material a desintegrar.

L_i: Tamano de la particula antes de la desintegracion (mm)

L_f: Tamano de la partcula despues de la desintegracion (mm)

En otras palabras podemos decir: “Que el trabajo absorbido para producir cambios análogos en la configuración de dos cuerpos geoméricamente semejantes y de la misma materia varía con el volumen o la masa de esos cuerpos”.⁵

Según la ley de Kick, el consumo específico debe ser lo mismo cada vez que se reduce el tamaño diez veces, es decir lo mismo para una reducción desde 1 m hasta 100 mm como para una reducción desde 10 micras hasta 1 micra. Esto no coincide con las experiencias prácticas, motivo por el cual la ley de Kick no tiene validez en todo el intervalo de tamaños considerando en relación a la molturación en la industria de cemento.

La teoría de Bond (Tercera ley de la molturación), generalmente, es aplicada para reducciones de tamaño en el intervalo que va desde 25 mm hasta 100 micras.

La teoría de Rittinger, generalmente, es una buena aproximación para la molturación de materias finas hasta tamaños de partículas de 10 micras, si no hay tendencias a aglomeración. Para molturación más fina, el consumo específico

1.4.4 TRITURADORES

Los trituradores son máquinas de baja velocidad que se utilizan para las reducciones más ordinarias (o gruesas) de grandes cantidades de sólidos. Los principales tipos son trituradores de mandíbulas, trituradores giratorios, trituradores de rodillos lisos y

⁵ **UNIOVI.** Molienda de crudo., 2012., p. 6-7.
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.INTRODUCCION.pdf>

trituradores de rodillos dentados. Los tres primeros operan por compresión y pueden romper grandes pedazos de materiales muy duros, como es el caso de la reducción primaria y secundaria de rocas y minerales. Los trituradores de rodillos dentados trocean y separan la alimentación a medida que la trituran; manejan alimentaciones suaves.

1.4.4.1 TRITURADORAS DE RODILLOS

En esta máquina dos o más rodillos pesados de acero giran uno hacia otro. Las partículas de la carga son atrapadas y arrastradas entre los rodillos, sufriendo una fuerza de compresión que las tritura. En algunos aparatos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizalla.

La producción de estas unidades está regida por la longitud y diámetro de los rodillos y por la velocidad de rotación. Con los diámetros mayores se utilizan corrientemente velocidades de 20 – 300 r.p.m. las relaciones de reducción de tamaño son pequeñas, en general, inferiores a 5.

El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y el espacio entre ellos se puede variar para adaptarlos al tamaño de la materia de partida y la velocidad de producción deseada. Aunque se dispone de un resorte de compresión para exceso de carga a fin de proteger la superficie de los rodillos, antes de la trituración se deben quitar los productos extraños duros.

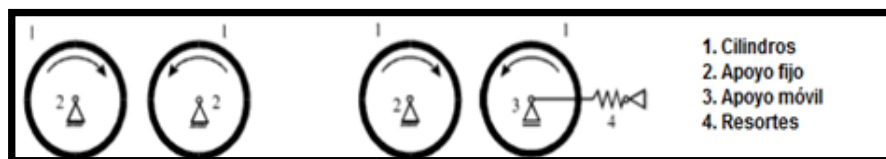


Fig. 1.4.4.1- 1 TRITURADOR DE RODILLOS LISOS

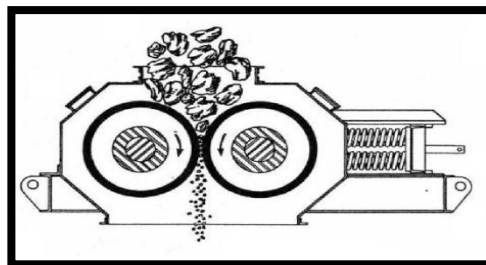


Fig. 1.4.4.1 - 2 CORTE TRITURADORA DE RODILLOS LISOS

El tamaño límite $D_{p,max}$ de partículas que pueden ser atrapadas por los rodillos de pende del coeficiente de fricción entre la partículas y la superficie de rodillo, pero en la mayoría de los casos se estima a partir de la relación

$$D_{p,max} = 0.08R + d$$

EC.1.4.4.1-1

Dónde:

R: Radio de los rodillos. (cm)

d:Ancho del espacio entre los rodillos. (cm)

El tamaño máximo del producto es aproximadamente igual a d.

El tamaño de las partículas del producto depende del espacio entre los rodillos, así como de la capacidad de la maquina en cuestión. Los trituradores de rodillos lisos operan con mayor eficiencia cuando dan lugar a una relación de reducción de tamaño de 3 o 4 a 1; es decir, cuando el diámetro del máximo de la partícula del producto es un tercio o un cuarto de la alimentación.

En muchos trituradores de rodillos, las superficies están provistas de rugosidades, barrar trituradoras o dientes. Tales trituradoras pueden contener dos rodillos o sólo uno, que actúa frente a una placa trituradora estacionaria curvada. Las máquinas conocidas como desintegradores contienen dos rodillos rugosos que giran a diferentes velocidades, los cuales desintegran la alimentación separada, o bien un pequeño rodillo de gran velocidad provisto con barras trituradoras transversales sobre su superficie que gira hacia un gran rodillo liso de baja velocidad. Algunos rodillos trituradores para el tratamiento de alimentaciones gruesas están provistos de robustos dientes en forma de pirámide. Otros diseños utilizan un gran número de discos con pequeños dientes a modo de sierra de cloques o láminas de material. Los trituradores de rodillos dentados son mucho más versátiles que los de rodillos lisos, con la limitación de que no pueden tratar sólidos muy duros. Operan por compresión, impacto y cizalla, en vez de sólo solo por compresión, como lo hacen las máquinas de rodillos lisos. No están limitados por el problema de agarre o captura de la alimentación, que es inherente a los trituradores de rodillos lisos y por tanto, son capaces de reducir partículas mucho más grandes. El tamaño de las

partículas de la alimentación de estas máquinas llega a ser tan grande como 500 mm (20 in); y su capacidad asciende hasta 500 toneladas/h

1.4.4.2 CAPACIDAD DE TRITURACIÓN DE LOS RODILLOS

Se conoce por capacidad teórica de estas unidades, al volumen de la corriente continua de producto descargada por los rodillos. En una máquina con rodillos de D metros de diámetro, longitud de la cara de 1 metros, separación de D_f metros y velocidad de los rodillos de N r.p.m., la capacidad volumétrica (Q) viene dada por:

$$Q = 60\pi N D_r \cdot D_f \cdot l$$

EC. 1.4.4.2-1

Dónde:

N: velocidad de los rodillos, rpm.

D_r : Diámetro de los rodillos, m.

D_f : Diámetro final de las partículas de salida, m.

L: Separación de los rodillos, m.

Los rodillos de trituración se utilizan para trituración intermedia y encuentra amplia utilización en la molienda de granos. En otros casos la superficie de los rodillos puede ser estriada para facilitar la fricción y la separación. Las trituradoras de rodillos sencillas que comprimen la carga entre el rodillo y un plato estacionario se utilizan para la trituración de productos más frágiles.

1.5 SEPARACIONES MECÁNICAS

“Las separaciones es un método físico para separar mezclas. Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños por un tamiz. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo. La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Además de lo anterior, se utiliza para el

análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas.”⁶

Existen dos métodos generales que son:

- El uso de una criba o tamiz, separador o membrana porosa que retiene un componente y permite que pase el otro.
- La utilización de diferencias de velocidades de sedimentación cuando las partículas o gotas se mueven a través de un gas o un líquido.

TAMIZADO

Operación unitaria o método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas, específicamente consiste en la separación de una mezcla de partículas de diferentes tamaños en dos o más fracciones, cada una de las cuales estará formado por partículas de tamaño más uniforme que la mezcla original.

OBJETIVO

- ✓ Separar las distintas fracciones que componen un sólido granulado o polvoriento por el diferente tamaño de sus partículas.

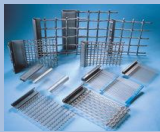




En la parte práctica la operación unitaria de tamizado es aplicado a nivel de:

- En el laboratorio para el análisis granulométrico
- Uso industrial de separar distintos tamaños de partículas, es decir, la desintegración mecánica de sólidos.

⁶ODAR, R. OPERACIONES UNITARIAS: Tamizado., 2009. p. 1.
<http://industrias-alimentarias.blogspot.com/2009/04/operaciones-unitarias-el-tamizado.html>

1.5.1 EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO

CUADRO 1.5.1 – 1
EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL TAMIZADO

No.	EQUIPO	DESCRIPCION	IMAGEN
1	Rastrillos	Se utiliza mucho para tamizado de grandes tamaños, en especial los superiores a 2,5 cm	
2	Tamices fijos	Se construyen con placas metálicas perforadas, así como también con tejidos metálicos que suelen disponerse en ángulo hasta de 60° sexagesimales con la horizontal. Estos tamices se usan en las operaciones intermitentes de pequeña escala, tales como el cribado de la arena, grava o carbón, para lo cual se proyecta el material sobre el tamiz	
3	Tamices vibratorios	Se utilizan para grandes capacidades. El movimiento vibratorio se le comunica al tamiz por medio de levas, con una excéntrica y un volante desequilibrado o mediante un electroimán. El tamiz puede poseer una sola superficie tamizante o llevar dos o tres tamices en serie.	
4	Tamices de vaivén	Este equipo está muy generalizado se usa mucho para el tamizado de productos químicos secos hasta el tamaño correspondiente a casi 30 mallas	
5	Serie de tamices Tyler	Esta es una serie de tamices estandarizados usados para la medición del tamaño y distribución de las partículas en un rango muy amplio de tamaño. Las aberturas son cuadradas y se identifican por un número que indica la cantidad de aberturas por pulgada cuadrada	

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

1.5.2 MÁQUINAS CORTADORAS

En algunos problemas de reducción de tamaño, las materias prima de alimentación son muy duras o muy elásticas para romperse por compresión, impacto o frotación. En otro tipo de casos la alimentación debe reducirse a partículas de dimensiones fijas. Estos requerimientos se pueden cumplir con máquinas llamadas granuladores, las cuales

producen piezas más o menos irregulares, y cortadora. Las cuales producen cubos, cuadrados pequeños o diamantes. Estos dispositivos encuentran aplicación en muchos procesos de manufactura, pero están especialmente bien adaptados para problemas de reducción de tamaño en la fabricación de caucho y plásticos. Encuentran aplicaciones importantes en el reciclaje del papel y materiales plásticos.

1.5.3 OPERACIÓN DEL EQUIPO

“En la selección y operación de un equipo de reducción de tamaño, es preciso cuidar muchos detalles del procedimiento y del equipo auxiliar. Un triturador, un molino, un cortador funciona adecuadamente hasta que:

La alimentación es de un tamaño idóneo y entra a una velocidad uniforme,

El producto se elimina tan pronto como es posible después de que las partículas alcanzan el tamaño deseado,

El material irrompible se mantiene fuera de la máquina y,

En la reducción de baja fusión o productos sensibles al calor, se elimina el calor generado en el molino.

Por tanto, los calentadores y enfriadores, separadores de metal, bombas y sopladores, y alimentadores de velocidad constante son accesorios importante para la unidad de reducción de tamaño. Los factores a considerar en la especificación de un sistema de reducción de tamaño, incluyendo la eficiencia de energía y asuntos relacionados con el ambiente”⁷

1.6 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS Y SISTEMAS QUE FORMARAN PARTE DEL EQUIPO.

La molienda del Polietileno de Tereftalato (PET) se realiza dentro de un molino de cuchillas giratorias, las cuales tienen como función triturar las botellas hasta convertirlas

⁷ **MCCABE, W.** Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.,6 ed. México., Mc Graw., 2002. .p. 689.

en hojuelas con dimensiones específicas, dichas cuchillas están unidas a unos portacuchillas; los portacuchillas están unidos a un eje rotatorio por medio de cuñas colocado sobre un par de chumaceras; en un extremo del eje está acoplado un volante de inercia, el cual tiene como función almacenar energía para moderar las fluctuaciones de la velocidad a la que gira el eje cuando se esté triturando el PET, y por el otro extremo del eje está unida una polea que es parte del sistema de transmisión de potencia.

1.6.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación del plástico en la maquina será manual, dicha maquina estará compuesta por una tolva de alimentación que cubrirá totalmente al sistema de corte, con el fin de proteger a la persona que opere la máquina, ya que si se toca las cuchillas en funcionamiento pueden sufrir grandes daños. Esta tolva será hecha de acero inoxidable y tendrá un diseño en L permitiendo que el material ingrese por la parte superior y sea conducido hacia el sector donde se encuentra el sistema de cuchillas.

La inclinación de la tolva de alimentación será de 5 grados y el borde superior de la tolva debe ser curvo con el fin de evitar que las partículas trituradas regresen y entren en contacto con el usuario durante la alimentación porque es inevitable que durante la trituración de las botellas las partículas salten.

La tolva de alimentación en uno de sus bordes poseerá una bisagra para levantar la tolva y poder realizar el mantenimiento de las cuchillas.

1.6.2 SISTEMA DE CORTE

Un molino rotatorio está equipado con bloques de acero de 2,5 a 5 cm de tamaño, montados en un rotor. Estos bloques de acero desmenuzan los fragmentos de material que son forzados a ingresar en los dientes por medio de un ariete. Estas máquinas producen partículas más pequeñas que las desmenuzadoras convencionales. Se ha determinado que los molinos rotatorios son excelentes para reducir el tamaño de plásticos duraderos.

1.6.2.1 CUCHILLAS CORTADORAS ROTATORIAS

Las máquinas con cuchillas cortadoras rotatorias son las más comunes en lo que se refiere a máquinas para moler plástico. Se les conoce también como molinos con cuchillas.

Estas máquinas emplean un sistema de cuchillas rotatorias tipo hoja, el sistema consta de varias cuchillas rotatorias y de tres o cuatro cuchillas fijas, lo que depende la aplicación para que se vaya utilizar el producto que sale de la máquina. La acción de molienda se produce cuando el plástico pasa entre la cuchilla fija y la cuchilla rotatoria; para que se realice el corte la cuchilla fija debe tener un ángulo respecto al rotor, mientras que la cuchillas fijas deben tener el mismo ángulo con respecto al rotor pero en dirección contraria.

La mayor precisión al ubicar las cuchillas determinará que la calidad de la molienda sea buena o mala y también permitirá reducir los costos de operación. La separación tradicional entre cuchillas está entre 0,2 a 0,3 mm; los beneficios de una estrecha separación entre cuchillas con el consumo de energía se demuestra en la figura 2.4

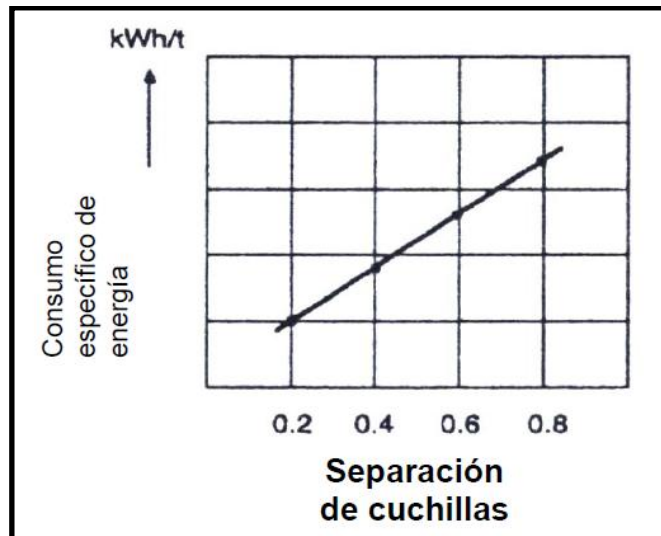


Fig. 1.6.2 – 1 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA EN FUNCIÓN DEL LA SEPARACIÓN ENTRE CUCHILLAS.

Las diferentes configuraciones como pueden ser posicionadas las cuchillas se puede observar en la fig.1.6.2 – 2. Para materiales con gran volumen, es necesario utilizar un

rotor con gran número de cuchillas con un ángulo que permita un corte poco profundo, que realice pequeños cortes sin que se trabe.

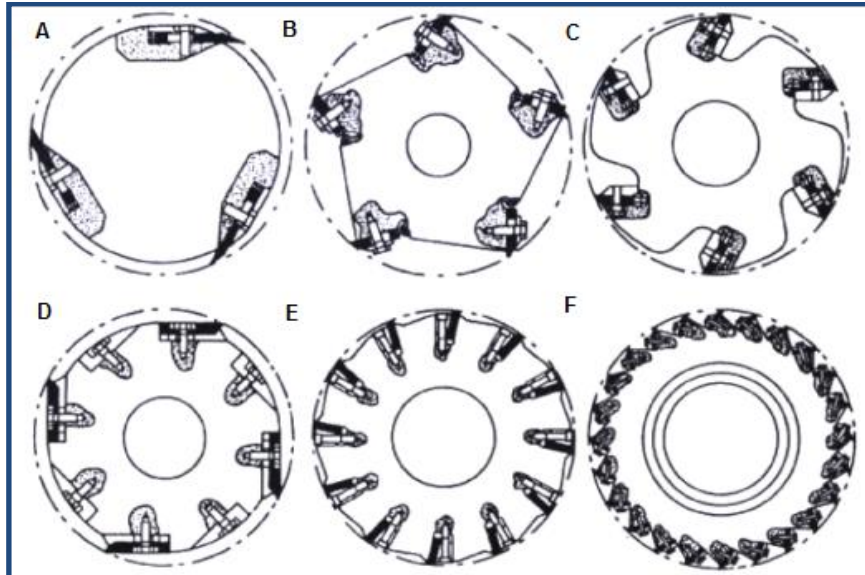


Fig. 1.6.2 – 2 TIPOS DE CUCHILLAS DE CORTE

1.7 DISEÑO

1.7.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS A MUESTREAR

Los números de muestras son los lugares estratégicos de donde se deberán recolectar las muestras.

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha}^2 x N x \sigma^2)}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha}^2 + \sigma^2} \text{ Ec. 1.7.1 - 1}$$

Dónde:

σ^2 : 0,04 Desviación estándar.

E: 0,056 Error permisible.

N: 13 Total zonas.

Z_{1- α} : 1,96 Coeficientes de confianza al 95%.

Una vez determinado el tamaño de la población se determinó el número de muestras, para el diseño de planes de manejo de residuos sólidos domiciliarios, pero en este caso se

utilizó ya que para el desarrollo de planes de manejo de residuos sólidos de instituciones educativas no existe ninguna

Los métodos de muestreo probabilísticos nos aseguran la representatividad de la muestra extraída y son, por tanto, los más recomendables

La muestra debe lograr una representación adecuada de la población, en la que se reproduzca de la mejor manera los rasgos esenciales de dicha población que son importantes para la investigación. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, es decir ejemplificar las características de ésta.

En ocasiones en que no es posible o conveniente realizar un censo (analizar a todos los elementos de una población), se selecciona una muestra, entendiendo por tal una parte representativa de la población.

El muestreo es por lo tanto una herramienta de la investigación científica, cuya función básica es determinar que parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.

Es decir, aquellos en los que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra y, consiguientemente, todas las posibles muestras de tamaño n tienen la misma probabilidad de ser elegidas.

1.7.2 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA

Generación unitaria de residuos sólidos, se refiere a la generación de residuos sólidos por persona y por día.

$$PPC_{PET} = \frac{(W_t)}{\# \text{ personas}} \text{ Ec. 1. 7. 2 - 1}$$

Donde:

PPC_{PET}: producción per cápita de botellas tipo PET

W_t: peso total de residuos

Personas: población total de los puntos muestreados.

La generación y caracterización de los residuos sólidos, son parámetros muy importantes para la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo y disposición final de los desechos sólidos

La determinación de producción per cápita de residuos sólidos conocida también como generación de residuos sólidos es la herramienta y cálculo primordial dentro de un sistema integrado de residuos. Con los valores de la PPC obtenidos en el estudio se puede determinar la cantidad de carros recolectores, número y volumen de contenedores que necesita la zona en estudio.

Como primer dato obtenido en la determinación de PPC se avizoran los componentes y tipos de residuos en peso y volumen.

1.7.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La tolva de alimentación es el cuerpo que permite la entrada del material hacia la cámara de trituración permitiendo que la alimentación sea de un volumen amplio.

Cuando estudiamos las áreas hablábamos de dos dimensiones: largo y ancho. El producto de los valores largo multiplicado por el ancho nos da el área.

$$\mathbf{VOLUMENTOLVA = VOLUMEN_1 + VOLUMEN_2 \text{ Ec. 1.7.3 - 1}}$$

$$\mathbf{VOLUMEN_1 = l \times a \times h \text{ Ec. 1.7.3 - 2}}$$

$$\mathbf{VOLUMEN_2 = \frac{l \times a \times h}{3} \text{ Ec. 1.7.3 - 3}}$$

Donde:

l: largo, cm.

a: ancho, cm.

h: alto, cm.

La determinación de volumen de un cuerpo nos ayuda a determinar el espacio que ocupará el equipo en el área de trabajo.

1.7.4 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE

El torque y la potencia son dos indicadores del funcionamiento del motor, nos dicen qué tanta fuerza puede producir y con qué rapidez puede trabajar, es decir la potencia es la cantidad de giros por minuto, cuantas vueltas puede dar el motor mientras que el torque es la fuerza que el motor pueda dar y depende de la compresión y la energía interna del combustible.

$$P = E \times C_p \text{ Ec. 1.7.4 - 1}$$

Dónde:

P: Potencia, Hp.

E: Energía necesaria para la reducción de tamaño, Hp h/Ton.

C_p: Capacidad del equipo, Kg/h.

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA LA TRITURACIÓN:

$$E = k \left(\frac{1}{\phi_2} - \frac{1}{\phi_1} \right) \text{ Ec. 1.7.4 - 2}$$

Donde:

K: constante de Rittenger, Hp H/Ton.

Φ₂: diámetro del material de entrada.

Φ₁: diámetro del material de salida.

DETERMINACIÓN DEL TORQUE:

$$T = \frac{7124 P}{n} \text{ Ec. 1.7.4 - 3}$$

Dónde:

T: Torque, Nm.

P: Potencia del motor, Hp.

n: velocidad de las cuchillas, rpm.

Su importancia radica en sus aplicaciones, si se tiene en mente que la civilización actual es electro-dependiente, es decir que depende de la energía eléctrica, es fácil deducir la importancia de la potencia eléctrica, Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos. La electricidad se puede producir mecánica o químicamente por la generación de energía eléctrica, o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas. Por último, se puede almacenar químicamente en baterías.

1.7.5 DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE INERCIA

Es la medida de dificultad para cambiar el estado de movimiento o reposo de un, mientras la fuerza neta aplicada sea cero, o la resistencia que opone la materia al modificar su estado de reposo o movimiento.

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \text{Ec. 1.7.5 - 1}$$

Donde:

I: Inercia, Kgm²

m: masa, kg.

r: radio, m.

La Inercia no se "aplica", es una propiedad de la materia y existe aunque queramos o no. Esto es, si un cuerpo está en reposo, se mantendrá en reposo hasta el fin de los tiempos si es que una fuerza no actúa sobre él y lo hace moverse, así que mientras más masa tenga un objeto mayor será su oposición al movimiento.

Asimismo, un cuerpo en movimiento, se mantendrá en movimiento a velocidad constante (sin aceleración) por siempre a menos que una fuerza actué sobre él (Fuerza es casi sinónimo de aceleración).

1.7.6 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS

Es la magnitud física que muestra y expresa la variación en cuanto a posición de un objeto y en función del tiempo.

La *velocidad angular* en un movimiento circular uniforme se mide por el cociente entre el ángulo recorrido por el radio y el tiempo empleado en barrerlo.

La *velocidad tangencial* o lineal cambia continuamente de dirección y sentido, pero la rapidez es constante porque la longitud del vector velocidad tangencial no varía.

VELOCIDAD ANGULAR

$$\omega = \frac{rev}{min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{2\pi rad}{rev} \text{ Ec. 1.7.6 - 1}$$

Dónde:

w: velocidad angular (rad/s).

min: minutos.

s: segundos.

rev: revoluciones.

VELOCIDAD LINEAL

$$v = \omega r \text{ Ec. 1.7.6 - 2}$$

Dónde:

v: velocidad lineal (m/s)

w: velocidad angular (rad/s)

r: radio, m.

En la vida cotidiana podemos observar la aplicación de estas velocidades en función a los movimientos circulares de cualquier objeto que tenga esta figura. Por ejemplo: en los parques de diversión, en las llantas de los autos, al hacer girar un objeto en forma circular, etc.

1.7.7 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACIÓN

El área de una superficie es expresada en metros o sus submúltiplos, a las mismas se las denominan unidades de superficie. Para superficies planas el concepto es más intuitivo. Cualquier superficie plana de lados rectos, por ejemplo un polígono, puede triangularse y se puede calcular su área como suma de las áreas de dichos triángulos.

Ocasionalmente se usa el término "área" como sinónimo de superficie, cuando no existe confusión entre el concepto geométrico en sí mismo (superficie) y la magnitud métrica asociada al concepto geométrico (área).

Sin embargo, para calcular el área de superficies curvas se requiere introducir métodos de geometría diferencial.

$$\text{Área} = a \times l \text{ Ec. 1. 7. 7 – 1}$$

Dónde:

l: largo, cm.

a: ancho, cm.

Mediante el cálculo indicado para encontrar la superficie de cualquier objeto que ocupa un determinado lugar en el espacio.

1.7.8 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)

El diámetro de una esfera que una superficie irregular depende de la orientación de la partícula al momento de la medición para ellos se toma en cuenta la teoría de esfericidad que nos permite determinar cuan esférico es un material.

$$d_a = \sqrt{\frac{4xA}{\pi}} \text{ Ec. 1.7.8 - 1}$$

Dónde:

da: Diámetro de una esfera de área proyectada equivalente.

A: área, cm².

π: pi (3,1416).

Cuando se mide el tamaño de un cuerpo tridimensional simple, como el de un cubo, es necesario dar las dimensiones de su largo, alto y ancho; un total de 3 números por cuerpo. Esto resulta poco práctico si se desea hacer una distribución del tamaño de muchos cuerpos diferentes, y se complica todavía más si se considera que las partículas tienen formas más complejas e irregulares. La esfera es la única forma cuyas dimensiones pueden ser descritas con un solo número, por lo que se busca aproximar el tamaño de la partícula al de una esfera equivalente. Es decir se mide alguna propiedad dependiente del tamaño de la partícula, como el peso, el volumen o el área superficial, y se asume que ésta se refiere a una esfera; por lo tanto se deriva a un único número, el diámetro de esta esfera, para describir a la partícula en tamaño. De esta forma, no tenemos que describir las tres dimensiones de la partícula con tres o más números, que aunque darían más precisión, resultaría inconveniente para propósitos prácticos.

1.7.9 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE FINOS

Es la cantidad de materia de tamaño muy inferior a las partículas de nuestro interés que ha pasado a través de una serie de tamices de áreas determinadas, la cual no puede ser lavada su porcentaje no debe exceder al 5% porque estaríamos considerando una pérdida bastante elevada, es así que mientras más bajo sea ese porcentaje las pérdidas serán menores.

$$\%finos = \frac{cxb}{a} \text{ Ec. 1.7.9 - 1}$$

Dónde:

a: peso de la muestra a tamizar, Kg.

b: 100 %.

c: peso del producto tamizado, Kg.

Conocer el porcentaje de finos en un proceso de molienda o trituración nos ayuda a determinar si el proceso está siendo manejado bajo los parámetros establecidos. Si el porcentaje de finos supera el 5% en procesos de trituración de plásticos podemos intuir que las cuchillas están desgastadas o que los ángulos de inclinación de las mismas han sido afectados, un porcentaje superior al porcentaje mencionado puede provocar daños a los equipos de lavado y secado. Porcentajes de finos superiores 5% en el área alimenticia puede afectar la palatabilidad.

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

Basándonos en estudios preliminares del año 2012 de producción per cápita de desechos sólidos generados en la ESPOCH se estableció la alimentación promedio por hora que tendrá el equipo para la trituración de botellas plásticas tipo PET.

Para llevar a cabo la validación del equipo de trituración de botellas plásticas tipo PET se realizó la colecta de estas botellas en 11 lugares estratégicos de la ESPOCH tomando en consideración 7 facultades, el comedor politécnico, el centro de idiomas, educación física y el edificio central mismos que consideramos zonas representativas por la cantidad de personas que acuden a estos sitios.

Para la toma de muestras se colocó recipientes correctamente etiquetados y de los mismos se recogieron diariamente las botellas a horas previamente establecidas, en los mencionados recipientes se depositaron las botellas por el lapso de una semana.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1 MÉTODOS

El estudio de este proyecto de investigación tiene un carácter explicativo y descriptivo de tal forma que permita responder los distintos fenómenos a analizarse durante el proceso de trituración del material plástico. El método utilizado es una guía de procedimientos, producto de la reflexión, que contuvo pautas lógicas generales para desarrollar y coordinar operaciones destinadas a la consecución de objetivos intelectuales o materiales del modo más eficaz posible.

Entre los métodos a utilizarse se tiene:

- **MÉTODO INDUCTIVO**

Involucró aquellos procedimientos que van de lo simple a lo compuesto, es decir, de las partes al todo, se caracteriza porque tienen una síntesis y consistieron en:

Revisión de material bibliográfico el cual permitió determinar el muestreo a realizarse que fue muestreo estratificado, posteriormente se determinó los lugares donde se recolectaron las muestras para la determinación de la producción per cápita de botellas plástica PET en la politécnica generadas por las personas que diariamente asisten a la misma, luego previo a una clasificación y conteo de las botellas se identificó las variables necesarias para el proceso la trituración y así emplearlos en el diseño y construcción más apropiada del triturador.

- **MÉTODO DEDUCTIVO**

En el desarrollo de dicho estudio se partió de fundamentos y principios de Estadística y Operaciones Unitarias, partiéndose así del diseño y construcción de la trituradora de plástico mediante la selección adecuada de los materiales y su respectivo dimensionamiento lo cual es de gran ayuda para obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables de proceso con el fin de obtener la caracterización y muestreo apropiado en cuanto al diseño se refiere.

- **MÉTODO DESCRIPTIVO**

Se aplicó la observación de fenómenos, que en primer momento es sensorial. Con el pensamiento abstracto se labora la hipótesis y se diseña el experimento con el fin de reproducir el objeto de estudio, controlando el fenómeno para probar la validez de la hipótesis.

Observación científica: Es el propio de las ciencias descriptivas. Es la observación de una parte del universo o población que constituye la muestra. Anotación de lo observable, posterior ordenamiento, tabulación y selección de los datos obtenidos, para quedarse con los más representativos.

Método de medición: A partir del cual surge todo el complejo empírico estadístico. Con lo cual se podrá determinar la relación entre el tiempo y la velocidad del proceso de trituración y así el rendimiento del mismo.

2.2.1.2 TÉCNICAS

Se utilizarán ciertas técnicas para la recolección de información como las siguientes:

- Observación
- Simulaciones

2.2.1.2.1 DETERMINACIÓN LA PRODUCCIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICO EN LA ESPOCH

TABLA 2.2.1.2.1 -1
DETERMINACIÓN DE PPC DE BOTELLAS TIPO PET

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>Producción per cápita (kg/hab/día): relaciona la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de un lugar o región determinada.</p>	<p>Recipientes Fundas Plásticas Balanza Guantes Marcadores Cámara digital Afiches Trípticos</p>	<p>Para la determinación de botellas plásticas se realizó la siguiente metodología:</p> <p>Caracterizar la zona.</p> <p>Determinar la población politécnica, dividir y ubicar la población en zonas.</p> <p>Tomar las muestras, después de determinar la cantidad de residuos generados por área muestreada, se procedió a determinar la generación per cápita total de cada zona de la siguiente manera:</p> <p>Se utilizó el total de residuos recolectados por el día de muestras.</p> <p>Se pesó diariamente (w) el total de las bolsas recogidas durante los días que duro el muestreo este proceso representa (W_t) la cantidad total de basura diaria generada en todos la zonas muestreadas, con todos los datos de los días muestreados se calculó el peso total promedio diario de residuos sólidos.</p> <p>Como se indicó anteriormente en función de los datos obtenidos sobre el número total de personas por facultad y el peso total promedio diario se determinó el PPC para cada punto muestreado, dividiendo el peso total promedio diario de las bolsas (W_t) entre la población total del área muestreada</p>	$PPC = \frac{(W_t)}{\# \text{ personas}}$ <p>Donde:</p> <p>W_t = Peso Total de Residuos.</p> <p># personas = número de personas</p>

FUENTE: TÉCNICA GUÍA LABORATORIO OPERACIONES UNITARIAS. ESPOCH

2.2.1.2.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LA MOLIENDA DEL MATERIAL PLÁSTICO

TABLA 2.2.1.2.2 – 1

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LA MOLIENDA DEL MATERIAL PLÁSTICO

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>El objetivo de la trituración es producir partículas as pequeñas a partir de otras más grandes.</p>	<p>Equipo de trituración de cuchillas</p> <p>Rejilla</p> <p>Guillotina</p> <p>Balanza</p> <p>Cronómetro</p> <p>Recipientes de plástico para la recolección del material triturado.</p> <p>Brocha pequeña para la limpieza del equipo y sus alrededores.</p> <p>Botellas de plástico tipo PET.</p>	<p>Se recomienda que durante el proceso de trituración se utilice elementos de protección personal (EPP) como orejeras o cualquier otro tipo de elemento de protección auditiva, mascarillas y guantes de nitrilo.</p> <p>Clasificar las botellas plásticas según su color y espesor, siendo el último clasificado en dos grupos que son los envases para bebidas gaseosas y no gaseosas, si el material es de tamaño muy grande para ingresar por la tolva de alimentación es recomendable reducir su tamaño comprimiéndolo, es recomendable cortar los picos y las bases de las botellas con la ayuda de la guillotina ensamblada al equipo, cabe recalcar que las botellas que sean muy gruesas se deben cortar transversalmente.</p> <p>Pesar muestras del material plástico a ser triturado según su clasificación.</p> <p>Conectar el equipo a una fuente de corriente eléctrica a 220V, encender el equipo y esperar hasta que el volante de inercia esté estable, colocar un recipiente en la parte baja del triturador para recibir el producto ya molido.</p> <p>Verter la muestra en la tolva de alimentación, verificar que la alimentación se esté realizando de forma adecuada, durante la operación de trituración medir con el cronómetro el tiempo de trituración.</p> <p>Después que la muestra ha sido triturada totalmente, se debe pesar el producto final a fin de determinar las pérdidas por operación en el triturador.</p> <p>Desconectar el triturador de la fuente eléctrica, limpiar el molino utilizando materiales adecuados.</p>	$\%R = \frac{P_i}{P_f} \times 100$ <p>Dónde:</p> <p>P_i= Peso inicial de la muestra, Kg.</p> <p>P_f= Peso final de la muestra después de la trituración, Kg.</p>

FUENTE: TÉCNICA GUÍA LABORATORIO OPERACIONES UNITARIAS. ESPOCH.

2.2.1.2.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FINOS EN EL MATERIAL TRITURADO

TABLA 2.2.1.2.3 – 1

DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE FINOS

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>El obtener partículas pequeñas es de gran interés industrial ya que presentan una gran superficie de contacto o bien por su forma, tamaño y número. Debido a que se trabajan con equipo de trituración o molienda, el producto varía en tamaño desde un máximo a un mínimo submicroscópico. Por esto es que al realizar el análisis granulométrico se dividen en dos grandes grupos: las partículas gruesas y las partículas finas.</p> <p>Las partículas finas presenta un comportamiento que puede ser representado por una ecuación empírica.</p> <p>En la medida en que el tamaño de las partículas disminuye se incrementa considerablemente el aporte de la energía. Por ello, es importante determinar previamente la adecuada distribución de tamaños de partículas en el producto con el fin de evitar un despilfarro de tiempo y energía. De aquí que el cálculo de la potencia de una maquina de trituración y molienda se hace de mucha importancia, aunado a que, solo una pequeña parte de la energía suministrada por la máquina es absorbida por el sólido.</p>	<p>Tapa, base y tamiz con luz de malla inferior a 2 cm2.</p> <p>Balanza</p> <p>Guantes</p> <p>Brocha pequeña para la limpieza del equipo y sus alrededores.</p> <p>Escamas procedentes del proceso de trituración.</p>	<p>Tomar una muestra representativa del producto triturado por cuarteo.</p> <p>Pesar una muestra de 50 gramos</p> <p>Colocar la muestra en el tamiz</p> <p>Agitar la muestra durante tres minutos.</p> <p>Pesar los finos que pasaron a través del tamiz.</p> <p>Realizar los cálculos correspondientes</p>	$\%finos = \frac{cxb}{a}$ <p>DONDE:</p> <p>a = peso de la muestra a tamizar en Kg.</p> <p>b = 100 %</p> <p>c = peso del producto tamizado en Kg</p>

FUENTE: TÉCNICA GUÍA LABORATORIO OPERACIONES UNITARIAS. ESPOCH.

2.3 DATOS DE DISEÑO

2.3.1 DIAGNÓSTICO

Para el diseño del equipo de trituración se obtuvieron datos, los cuales nos ayudaron a identificar las variables operativas del proceso que es la alimentación.

Llamamos variables o parámetros de operación a todo lo que se pueda controlar; existen muchas en trituración, las más importantes que pudimos identificar y que nos servirán de guía para el diseño y construcción del equipo las podemos identificar en la tabla 2.3.2-1

El tiempo de residencia en la cámara de trituración está en relación al volumen del material a triturar es decir a mayor grosor y tamaño de la botella mayor será el tiempo de residencia en la cámara de trituración.

2.3.2 DATOS

En la tabla que se muestra a continuación se reflejan los pesos y porcentajes diarios de residuos sólidos generados en la ESPOCH.

TABLA 2.3.2 – 1

PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR DIA – ESPOCH

Componente		Peso (Kg/d)	Porcentaje (%)
Orgánico		118,2	34,21
Plástico	Otros	5,5	1,59
	PET	60	17,37
Vidrio		18,3	5,30
Papel		46,6	13,49
Latas		4,2	1,22
Común		86,1	24,92
Cartón		6,6	1,91
Total		345,5	100,00

FUENTE: BRITO H. / et al, ESPOCH, 2012

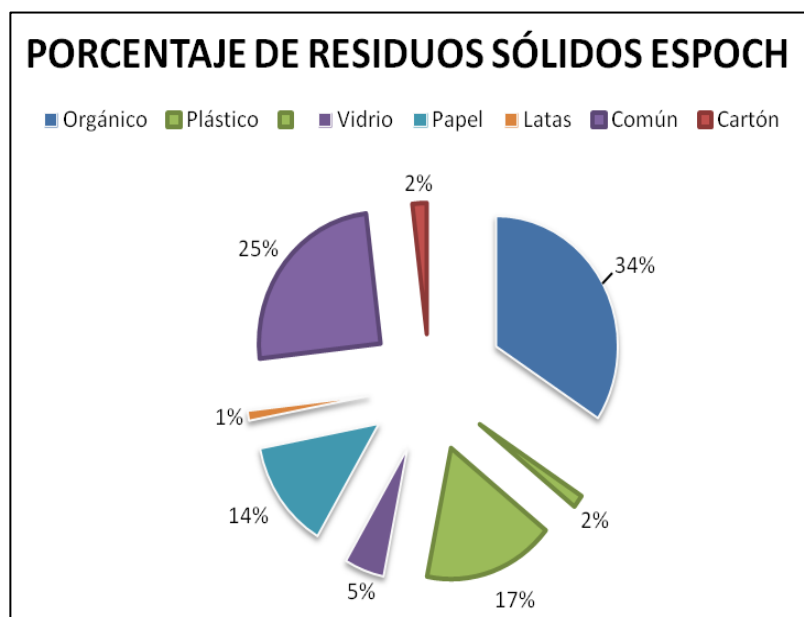


Fig. 2.4. – 1 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR DÍA - ESPOCH

La capacidad de trituración del equipo se lo define en base a la producción diaria de PET en la ESPOCH que es de 60 Kg.

TABLA 2.3.2 – 2
DATOS PARA PROCESO DE TRITURACIÓN

Producción diaria de PET (Kg)	Capacidad del equipo (Kg/h)	Batches diarios
60	20	3

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

Para la determinación de las medidas de la cámara de trituración se han tabulado los datos del volumen y largo de las botellas así como las especificaciones técnicas de las cuchillas.

Para determinar el largo de la cámara de trituración se hace un promedio del largo de las botellas más comunes en el mercado, el largo de las botellas previo al proceso de trituración sin bases y sin pico será el que se considere para el diseño del largo de la cámara de trituración.

De acuerdo al diámetro de la cuchilla de corte que es 18,4 cm se considera que el ancho de la cámara de trituración será de 20 cm, y los demás datos técnicos de las cuchillas se muestran en la TABLA 2.3.2 – 4.

TABLA 2.3.2. – 3
DATOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN

VOLUMEN DE LA BOTELLA (cm³)	LARGO (cm)
250	10
500	16
1350	22
3000	24
MEDIA	18

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

En el manual técnico de sierras circulares TRUPPER obtenemos los siguientes datos.

TABLA 2.3.2 – 4
DATOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	INDICADOR
Uso	Sierras portátiles y de mesa
Dientes	Tungsteno soldados con proceso láser
Tipo de dientes	Biselado alterno (un diente hacia la derecha y otro a la izquierda)
Ranuras Slot	Para disipar el calor más rápidamente y evitar deformación
Balaceada y tratada térmicamente	Muy estable
Diámetro	7 1/4" (184mm)
Centro	5/8" (15,9mm)
Número de dientes	16
Velocidad máxima	8,300 rpm

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

CAPITULO II

DISEÑO

3 DISEÑO

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS A MUESTREAR

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha}^2 \times N \times \sigma^2)}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha}^2 + \sigma^2} \quad \text{Ec. 1.7.1 - 1}$$

$$n = \frac{(1.96)^2 \times 13 \times 0.04}{(13 - 1)(0,056)^2 + (1.96)^2 \times 0.04} = 11 \text{ muestras}$$

3.1.2 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PERCÁPITA

$$PPC_{PET} = \frac{\text{PesoTotaldeResiduos}(W_t)}{\text{Número total de personas}} \quad \text{Ec. 1.7.2 - 1}$$

$$PPC_{PET} = \frac{58 \text{ Kg}}{13784 \text{ persona - dia}}$$

$$PPC_{PET} = 0,0042 \frac{\text{Kg}}{\text{personas - dia}}$$

3.1.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

$$VOLUMENTOLVA = VOLUMEN_1 + VOLUMEN_2$$

$$VOL_1 = axbxh$$

$$VOL_1 = 0,18 \times 0,20 \times 0,60$$

$$VOL_1 = 0,0216 \text{ m}^3$$

$$VOL_2 = \frac{axbxh}{3}$$

$$VOL_2 = \frac{0,12 \times 0,20 \times 0,60}{3}$$

$$VOL_2 = 0,0048 \text{ m}^3$$

$$VOLUMENTOLVA = VOLUMEN1 + 2VOLUMEN2$$

$$VOLUMENTOLVA = 0,0216 + 0,0048$$

$$VOLUMENTOLVA = 0,0264 m^3$$

3.1.4 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR

$$P = ExCp \text{Ec. 1.7.4 - 1}$$

$$P = 100,01 \frac{Hph}{Ton} \times 0,020 \frac{Ton}{h}$$

$$P = 2,002 Hp$$

3.1.4.1 DETERMINACION DE E

$$E = 130,9 \left(\frac{1}{1,23} - \frac{1}{20,3} \right) \text{Ec. 1.7.4 - 2}$$

$$E = 130,9 (0,813 - 0,049)$$

$$E = 100,01 \frac{Hph}{Ton}$$

3.1.4.2 DETERMINACIÓN DEL TORQUE

$$T = \frac{7124 P}{n} \text{Ec. 1.7.4 - 3}$$

$$T = \frac{7124 \times 2 Hp}{8300 rpm}$$

$$T = 2 Nm$$

3.1.5 DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE INERCIA

$$I = \frac{1}{2} mr^2 \text{Ec. 1.7.5 - 1}$$

$$I = \frac{1}{2} (20 Kg)(0,125 m)^2$$

$$I = 0,156 \text{ Kgm}^2$$

3.1.6 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE LAS CUCHILLAS

3.1.6.1 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR

$$\omega = 8300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \text{ Ec. 1.7.6 - 1}$$

$$\omega = 869,17 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

3.1.6.2 VELOCIDAD LINEAL

$$v = \omega r \text{ Ec. 1.7.6 - 2}$$

$$v = 869,17 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,092 \text{ m}$$

$$v = 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2 RESULTADOS

TABLA 3.2 -1

DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE TRITURACION DE BOTELLAS TIPO PET

No.	Tipo de botella	P _i (Kg)	V (rpm)	T (min)	P _f (Kg)	Mr (Kg)	% R
1	PET para bebidas sin gas	3,5	8300	10	3,25	0,08	93
2	PET para bebidas con gas	4	8300	15	3,8	0,05	95

FUENTE: FREIRE, L. GONZALEZ, C. 2013

3.2.1 DETERMINACION DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACION

$$\text{Área} = \text{base} \times \text{altura} \text{ Ec. 1.7.7 - 1}$$

$$\text{Área} = 3,1 \times 2,0$$

$$\text{Área} = 6,2 \text{ cm}^2$$

TABLA 3.2.1 – 1

DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LAS ESCAMAS PRODUCTO DE LA TRITURACIÓN

No.	BASE (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)
1	3,1	2,0	6,2
2	2,4	2,2	5,2
3	1,6	3,6	5,8
4	3,0	2,1	6,3
5	1,8	3,0	5,4
6	2,6	2,0	5,2
7	3,4	1,9	6,5
8	2,7	1,8	4,9
9	2,0	2,0	4,0
10	3,0	2,0	6,0

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

3.2.2 DETERMINACION DEL DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)

$$d_a = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. 1.7.8 - 1}$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \times 6,2}{\pi}}$$

$$d_a = 2,81 \text{ cm}^2$$

TABLA 3.2.2 -1

DIÁMETRO DE UNA ESFERA DE ÁREA PROYECTADA EQUIVALENTE (da)

No.	AREA cm ²	DIAMETRO (da) cm
1	6,2	2,81
2	5,2	2,57
3	5,8	2,72
4	6,3	2,83
5	5,4	2,62
6	5,2	2,57
7	6,5	2,88
8	4,9	2,49
9	4,0	2,25
10	6,0	2,76

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

3.2.3 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE FINOS

$$\%finos = \frac{cxb}{a} \text{ Ec. 1.7.9 - 1}$$

TABLA 3.2.3 – 1
PORCENTAJE DE FINOS

No.	PESO DE MUESTRA (g.)	PESO DE FINOS (g)	PORCENTAJE DE FINOS %
1	ENVASES BEBIDAS GASEOSAS 100	3,21	3,21
2	ENVASES BEBIDAS NO GASEOSAS 100	2,64	2,64

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

3.3 PROPUESTA

3.3.1 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

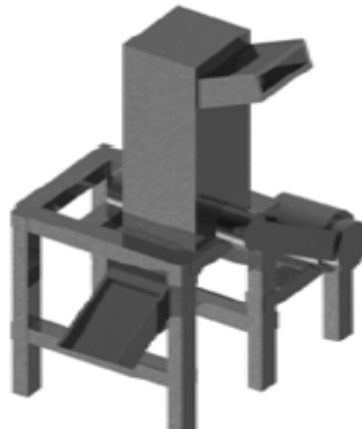
3.3.1.1 ANÁLISIS DE COSTOS

3.3.1.1.1 RECURSOS MATERIALES

TABLA 1.3.1.1.1 - 1
RECURSOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL (\$)
Tubo cuadrado	3	20	60
Plancha de acero inoxidable	2	45	90
Motor 2 Hp	1	120	210
Chumaceras	2	6,50	13
Cierras circulares	9	60	540
Pernos y tuercas	1	0,8	0,80
Guillotina	1	12	12
Poleas	2	35	70
Electrodos	10	0,4	4
Disco de corte	1	2,50	2,50
Lija	4	0,8	3,2
Volante de inercia	1	100	150
		TOTAL	1155,5

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013



3.3.1.1.2 RECURSOS HUMANOS

TABLA 1.3.1.1.2 – 1
RECURSOS HUMANOS

No.	DENOMINACIÓN	COSTO
1	Mano de obra para la construcción del equipo	700
2	Mano de obra para la instalación del sistema eléctrico	60
	TOTAL	760

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

3.3.1.1.3 RECURSOS TOTALES

TABLA 1.3.1.1.3 – 1
RECURSOS TOTALES

No.	ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	Transporte	-	-	138,00
2	Impresiones y copias	1200	0,03	39,50
3	Empastado	3	7	21,00
4	Anillados	3	2	6,00
5	Internet	200	0,40	80,00
6	Recursos materiales	-	-	1155,50
7	Recursos Humanos	-	-	760
			TOTAL (USD)	2200

FUENTE: FREIRE L. / GONZÁLEZ C., 2013

3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- La producción per cápita de botellas PET en la ESPOCH es 0,0042 Kg/ persona – día, la misma, que puede variar dentro de la institución debido no precisamente al número de personas, sino más bien a las diferencias que existen en cada una de las áreas donde se aplicó el muestreo y la época del año.
- La caracterización de las botellas de plástico PET se muestran que el 70% corresponden a envases para bebidas no gaseosas y el 30% a envases para bebidas gaseosas principalmente, debido a que, bebidas no gaseosas son más accesibles al bolsillo del consumidor politécnico.
- El diseño del equipo fue determinado en base a una alimentación de 20 Kg/h distribuidos en tres cargas como consecuencia a que durante ese tiempo se pueden realizar una práctica completa de laboratorio.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La PPC en el ESPOC de botellas PET es de 0,0042 Kg/ persona – día.
- La clasificación de las botellas de plástico PET determinan que el 70% corresponden a envases para bebidas no gaseosas y el 30% a envases para bebidas gaseosas.
- El diseño del equipo fue dimensionado en base a una alimentación de 20 Kg/h distribuidos en tres cargas satisfaciendo así los 60 Kg/día de botellas generadas en la ESPOCH.
- El equipo fue validado obteniendo el 94% de rendimiento.

4.2 RECOMENDACIONES

- La alimentación debe ser controlada a medida que avanza el proceso para evitar como: algún atascamiento y por ende alguna pérdida de tiempo.
- Es recomendable que las botellas antes de ser introducidas al equipo sean separadas de sus picos y bases para evitar atascamientos.
- El mantenimiento de la maquina debe ser regular, este dependerá del uso que se le dé a la máquina, se debe procurar revisar el estado de las cuchillas y en el caso de que una de ellas requiera ser cambiada se lo haga.
- Usar equipos de protección personal tanto auditiva como nasal y visual.
- Procurar no levantar la malla de protección de ingreso de materia prima a la cámara de trituración.

BIBLIOGRAFIA

1. **BRITO, H.** Texto Básico de Operaciones Unitarias I., Riobamba-Ecuador., 2000. p. 22-47.
2. **CHAPA, O. & MARTINEZ, E.** DISEÑO DE EQUIPO PARA MOLIENDA Y LAVADO DE PET, (Tesis), (Ing. Mecánico), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2012. p. 2-9.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2342/1/4626.pdf>
3. **PAREDES, R.** ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO. CAPACIDAD 2 Kg / día, (Tesis), (Ing. Mecánica), Escuela Superior Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2006. p. 8-151.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/891/1/T-ESPE-014412.pdf>
4. **MCCABE, W.** Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 6 ed. México., Mc Graw., 2002. p. 867-987.

5. **RICHARDSON, L & LONKENS GARD, E.** Industria del Plástico., 2ed. Australia., Paraninfo., 2007. p. 137-248.
6. **SCHEIRS, J.** Polymer Recycling., Australia., John Wiley & Sons., 1998. p. 119-379
7. **SAMANIEGO, M & ESTRADA, E.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MIXTO DE MOLIENDA Y TAMIZADO PARA MATERIALES MINERALES, (Tesis), (Ing. Químico), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. 2012, p. 8-56.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1973>

LINCOGRAFIA

8. DIÁMETROS DE PARTÍCULAS

<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo2.pdf>

2013-08-21

9. DISEÑO PARA UN MÁQUINA DE MOLIENDA

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/767/4/T-ESPE-025350-4.pdf>

2013-08-31

10. DISEÑO DE TRITURACIÓN

http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf

2013-08-31

11. FUERZA DE INERCIA

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6415/01LLrp01de01.pdf;jsessionid=0>

[B00B9AB6924B0F1309880E7B4B36520.tdx2?sequence=1](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6415/01LLrp01de01.pdf;jsessionid=0)

2013-08-21

12. RECICLAJE EN EL ECUADOR

<http://www.metroecuador.com.ec/19603-estado-exige-reciclar-el-plastico-pero-donde.html>

2013-06-01

13. PROPIEDADES DEL PET RECICLADO

http://www.oni.escuelas.edu.ar/2005/CORDOBA/902/olimpiadas/propiedades_de_los_pl%C3%A1sticos_rec.htm

2013-07-21

14. TRITURACIÓN

http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf

2013-07-21

15. LEY DE RITTENGER

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.INTRODUCCION.pdf>

2013-07-28

16. LEY DE KICK

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.INTRODUCCION.pdf>

2013-08-03

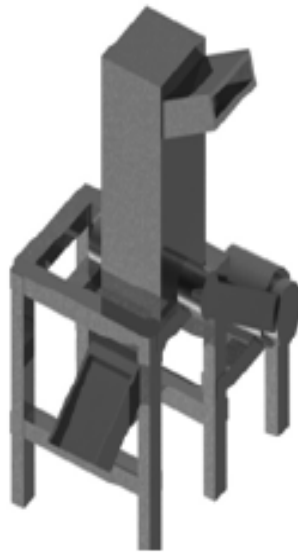
17. TAMIZADO

<http://industrias-alimentarias.blogspot.com/2009/04/operaciones-unitarias-el-tamizado.html>

2013-08-11

ANEXOS

ANEXO I
TRITURADOR DE BOTELLAS TIPO PET



a



b.



c.

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH			TRITURADOR DE BOTELLAS TIPO PET		
a.	Triturador PET - vista frontal	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA			PET		
b.	Triturador PET - vista superior	<input type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR APROBAR						
c.	Triturador PET - vista posterior	<input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACION				LÁMINA	ESCALA	FECHA
				LUIS MIGUEL FREIRE - CRISTIAN JEYSON GONZÁLEZ			1		

ANEXO II
COMPONENTES DEL EQUIPO



a



b



c

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH			TRITURADOR DE BOTELLAS TIPO FET		
a.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA LUIS MIGUEL FREIRE - CRISTIAN JEYSON GONZÁLEZ			LÁMINA ESCALA FECHA		
b.	SISTEMA DE CORTE	<input type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR APROBAR						
c.	DESCARGA DE MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACION				2		

ANEXO III
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS



a



b



c

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BOTELLAS		
a. BOTELLAS SIN CLASIFICAR b. BOTELLAS TIPO PET PARA BEBIDAS NO GASEOSAS c. BOTELLAS TIPO PET PARA BEBIDAS GASEOSAS	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA LUIS MIGUEL FREIRE - CRISTIAN JEYSON GONZÁLEZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3		