



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DISEÑO DE UN LAVADOR PARA ELIMINAR POLVO, ETIQUETAS
Y PEGAMENTO DE LAS HOJUELAS DE PET RECICLADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A :

ALEJANDRO AGUIRRE HERNÁNDEZ

ASESOR: I. Q. EDUARDO LOYO ARNAUD
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA- UNAM



MÉXICO, D.F.

FEBRERO, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.



Quiero dedicar esta tesis, y agradecer a todas las personas que han formado parte importante en mi vida...

A DIOS, porque me has colocado en una vida hermosa, gracias por darme todo, por darme esta linda carrera, a mi familia, a mis maestros y a mis amigos.

A ti Papa, por transmitirme tu vasta experiencia, por darme tantos sabios y útiles consejos, y por apoyarme en todo momento, aun en los momentos difíciles.

A ti Mama, por escucharme siempre que he necesitado a un amigo, por brindarme tu calidez y tu amor, por creer en mí. Te quiero mucho.

A mis hermanos, Leticia, Omar y Fernando, porque son los mejores hermanos que pude tener, por ser un súper apoyo en mi vida, hoy comparto esta tesis con ustedes.

A Eduardo Loyo, mi maestro, mi amigo. Porque me has enseñado lo que debe ser la ingeniería química, porque me has escuchado y también me has impulsado a estar hoy aquí, y has aguantado todas mis malas y buenas acciones solo puedo decirte... gracias amigo. Comparto hoy esto contigo.

A los profesores que jugaron un papel fundamental en mi formación académica, Hilda Olvera Del valle, Carlos Magin Juárez, Gloria Peralta, Lourdes Castillo, Ángeles Torres, José Bermúdez, Benjamín Rangel Granados, Cuahtemoc Lagos, Crescenciano Echevarrieta, Fausto Calderas, gracias por formarme, los llevaré en mi corazón siempre.

A tres personas con las cuales compartí momentos inolvidables, por mostrarme siempre su amistad sincera, brindo mi trabajo a ustedes. Eduardo Vázquez, Roberto Mendoza, y Raúl Ramón Mora, gracias por tantas mañanas y tardes épicas.

Al director de la facultad, Alfredo Sánchez Figueroa, por apoyarme, por creer en mí y escucharme cuando más necesite que alguien me tendiera la mano, gracias... amigo.

A mis Grandes amigos, Gustavo Morales, Rodrigo García, Fernando Rivera, Jesús Ulises, grandes pilares y apoyo en amistad, hemos compartido y pasado tantas cosas, hoy quiero gritar un Goya con ustedes por la Ingeniería Química.

AGRADECIMIENTOS.



A mis teachers y amigos Sonia Gutiérrez y José luís Falcón, han sido y serán un gran apoyo, gracias por su amistad.

A mis ¿How do you say? John, Rafa, Esteban, Mary, Héctor, George, Ale, Araceli, Osiris, Nery, Laura, Ricardo, Marcos, Claudia Mondragón, José luís Gallardo y Sussan Parker. Que lindo fue tener clases de ingles con ustedes.

A mi equipo de trabajo, Don Saúl, Don Javier, Galina, Luís miguel, José Bravo y Ángeles Galván, gracias por ser un gran equipo y apoyo en la realización de esta tesis.

A aquellos amigos que llegaron en la parte final de mi carrera Rodolfo (osito) samanta, y Juan Carlos (JC) ¡¡ Gracias por compartir tantas taquizas!!

A Cesar Maximino Agustín, amigo, va por ti.

A mis amigas Atenas Diosdado, Iliana Morales por estar conmigo, por apoyarme. Gracias.

A ti lehavyn, hoy no estas conmigo, donde quiera que te encuentres, te brindo esta tesis.

Hoy comparto todo esto con ustedes, que son mi mundo, y doy gracias a Dios y a la vida porque llegue al final de este hermoso camino y forman parte de el.

ALEJANDRO.

INDICE.



	Página.
Resumen.	1
Introducción.	2
Justificación del trabajo.	3
Hipótesis formuladas.	3
Objetivo.	4
Capítulo 1	5
Generalidades.	5
1.1 Historia general del PET.	6
1.2 Química del PET.	7
1.3 Propiedades del PET.	8
1.4 El PET en la industria.	9
1.5 Impacto ambiental del PET en México.	11
1.6 Reciclaje del PET en México.	16
Capítulo 2	20
2.1 Diseño experimental.	20
2.1 Molienda. Reducción de tamaño.	21
2.2 Fundamentos de la desintegración mecánica.	21
2.3 Características de los productos desintegrados mecánicamente.	22
2.4 Energía y potencia necesarias para trituración.	23
2.5 Rendimiento de trituración.	23
2.6 Equipos para reducción de tamaño.	25
2.7 Trituradoras.	26
2.8 Trituradoras de mandíbulas.	26
2.9 Trituradoras giratorias.	27
2.10 Trituradoras de rodillos lisos.	28
2.11 Trituradoras de rodillos dentados.	28
2.12 Molinos.	29
2.13 Molinos de martillo e impactadores.	29
2.14 Maquinas de rodamiento y compresión.	30
2.15 Molinos de frotamiento.	31
2.16 Molinos giratorios.	32
2.17 Molinos de ultrafinos.	34
2.18 Maquinas cortadoras.	34
2.19 Funcionamiento de los aparatos.	35
2.20 Descarga de los molinos.	35
2.21 Molienda del PET. (Etapa 1 del proceso).	36
2.22 Diferencia de densidades.	39
2.23 Difusión de macromoléculas.	40
2.24 Equilibrio de sedimentación.	44
2.25 Velocidad de sedimentación	45

INDICE.



		Página.
2.26	Lavado del Pet con NaOH acuosa a distintas concentraciones (Etapa 2 del proceso).	49
2.27	Polaridades de los disolventes orgánicos.	55
2.28	Serie elutropica de algunos disolventes orgánicos.	58
2.29	Selección del disolvente adecuado.(Etapa 3 del proceso).	59
2.30	Propiedades físicas, químicas y toxicologicas de los disolventes seleccionados.	59
2.31	Resultados de pruebas preeliminares.	60
Capitulo 3	Diseño del equipo a nivel planta piloto.	62
3.1	Ingeniería básica.	63
3.2	Bases de usuario.	63
3.3	Bases de diseño.	64
3.4	Criterios de diseño.	65
3.5	Diagrama de bloques del proceso.	66
3.6	Diagrama de flujo de proceso (DFP).	67
3.7	Balance de masa y energía.	68
3.8	Descripción del proceso.	70
3.9	Hojas de datos de equipos requeridos en el proceso.	72
3.10	Diagrama de tuberías e instrumentación.	74
3.11	Diagrama de tanque separador.	75
3.12	Diagrama motor y carcasa para tanque giratorio.	76
3.13	Diagrama tanque giratorio.	77
Capitulo 4	Estimación de costos del proyecto.	80
4.1	Algunos conceptos económicos en el proyecto.	82
4.2	Consideraciones económicas del proyecto.	83
4.3	Financiamiento del proyecto. Inversión total.	84
4.4	Estructura financiera.	84
4.5	Presupuesto de ingresos.	85
4.6	Presupuesto de egresos.	86
4.7	Materias primas.	86
4.8	Servicios.	88
4.9	Mano de obra.	90
4.10	Estado de resultados.	91
4.11	Depreciación.	91
4.12	Valor presente neto (V.P.N.).	93
4.13	Tasa interna de retorno (T.I.R).	94
4.14	Tiempo de recuperación de capital.(T.R.C).	95
Capitulo 5	Resultados obtenidos.	96
5.1	Resultados obtenidos a nivel laboratorio.	98
5.2	Resultados obtenidos a nivel planta piloto.	100

INDICE.



		Página.
5.3	Resultados financieros	102
Conclusiones		103
Recomendaciones		104
Bibliografía		105
Anexo 1	Normas de reciclaje	107
Anexo 2	Cromatogramas de disolventes.	116



RESUMEN

El presente trabajo se enfoca a dar un tratamiento al Polinaftalato de etileno PET reciclado en la facultad de estudios superiores Zaragoza, ya que este sólido generalmente se desecha, ocasionando con esto una contaminación al ambiente. Debido a que el PET es un producto que se recicla o se puede reutilizar, se ha propuesto la tarea de limpiarlo para un procesamiento posterior de este sólido.

El proceso que se lleva cabo para la obtención del PET limpio, empieza con molienda, las botellas son introducidas con polvo, etiqueta, pegamento y arillo en un molino para triturarlas y obtener mediante esta operación Pet en hojuelas.

El siguiente paso es introducir estas hojuelas a un lavado con una disolución acuosa de NaOH con agitación, esto con la finalidad de lavar las hojuelas y eliminar polvo y etiquetas del PET con una separación fundamentada en la diferencia de densidades.

Posteriormente las hojuelas lavadas son llevadas a secado, para después lavarlas con un disolvente que sea capaz de disolver el pegamento en la hojuela de PET, y con esto separar la etiqueta que se encuentra adherida a las hojuelas, debido al pegamento, para obtenerlas limpias. Para encontrar el disolvente adecuado capaz de disolver el pegamento, se realizaron pruebas con disolventes de diferentes polaridades, se utilizó un disolvente polar, un disolvente de polaridad media, y un disolvente no polar, así como mezcla de estos disolventes.

El último paso fue separar la etiqueta del PET limpio por medio de un ciclón, obteniendo por un lado, etiqueta suelta y por otro lado, PET limpio.

INTRODUCCIÓN.



INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, el reciclaje del PET es muy importante, debido a que forma parte de la contaminación al ambiente al formar parte de los desechos sólidos.

El Polinaftalato de etileno (PET), es un material plástico que tiene aplicaciones importantes en la industria, como lo son; la fabricación de recipientes para alimentos, empaques, herramientas para uso domestico, etc. Debido a la falta de cultura sobre el reciclaje y el medio ambiente, este material es utilizado una sola vez, y posteriormente se desecha. La falta de alternativas de tratamiento de este material, lo convierte en uno de los contaminantes que mas abundan en nuestro país.

Debido a que en la Facultad de estudios Superiores Zaragoza, específicamente en el laboratorio de desarrollo de procesos, se cuenta con el material y la infraestructura para realizar la molienda del PET reciclado, sin embargo; no existe una metodología para llevar a cabo la eliminación de todos los desechos contenidos en el PET (etiquetas, polvo y pegamento). En este proyecto se planteo eliminar dichos desechos del PET reciclado generado en dicha institución, para darle un uso posterior. Existen antecedentes del tratamiento de este material, como la construcción de un macetero, y el diseño y construcción de un separador mecánico para eliminar polvo y etiquetas en hojuelas de PET, [Osorio, 2005]. En estos trabajos se consideró eliminar las etiquetas y el polvo del PET reciclado. En este proyecto, se propone además, la eliminación del pegamento contenido en las hojuelas del PET reciclado, con lo que se mejorará su pureza para un procesamiento posterior.

Considerando que en esta institución hay una gran cantidad de botellas de PET que se desechan diariamente, y tomando a esto como contaminación al ambiente, y a la institución; este proyecto se ha enfocado a reciclar esos desechos sólidos y darles un tratamiento para limpiarlos y puedan, posteriormente, ser procesados para darles una utilidad. Con esto se eliminarían los desechos de la facultad y se crearía, una cultura de reciclaje para el estudiante.



JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.



JUSTIFICACION DEL TRABAJO.

Dado que se tiene un problema en nuestra facultad como a nivel nacional con la acumulación de desechos sólidos, se ha propuesto este trabajo, como una alternativa para el tratamiento de estos desechos, específicamente botellas de plástico, las cuales, ocupan un gran volumen en cuanto a espacio se refiere y son muy ligeras en cuanto a peso. Sabiendo que este material es reciclable, y se le puede dar un uso posterior después de desecharlo, se pensó en este proyecto, que contribuye a eliminar los desechos sólidos en nuestra facultad, así como al medio ambiente al reciclar las botellas, compactarlas, molerlas y lavar las escamas u hojuelas obtenidas después de la molienda, para poder procesar este plástico en la posteridad.

PRIMERA HIPOTESIS.

Se obtendrá una molienda del plástico reciclado en hojuelas que contendrá: PET (cuerpo y cuello de la botella), polietileno de alta y de baja densidad (en arillo y etiquetas), celulosa (etiquetas), adhesivo (en etiqueta + PET) y tierra, se hará un lavado con una disolución acuosa cáustica a distintas concentraciones para determinar la cantidad adecuada de NaOH en la disolución que permita realizar un lavado óptimo, tomando en cuenta peso de la materia prima antes del lavado y después del lavado, considerando al PET libre de polvo y etiqueta como objetivo en el lavado.

SEGUNDA HIPOTESIS.

A partir del principio de diferencia de densidades, durante el lavado con la disolución cáustica, se separará por flotación el polietileno así como la etiqueta (celulosa y/o polietileno) puesto que son menos densos que el PET, y se eliminarán por derramamiento de la disolución.

TERCERA HIPOTESIS.

Después de lavar y separar de la molienda los elementos menos densos, se tendrá PET limpio con etiqueta adherida con pegamento, al encontrar el disolvente adecuado consultando una tabla de disolventes de diferentes polaridades, y este disuelva el pegamento, se obtendrá el PET libre de adhesivo y etiqueta adherida, quedando la hojuela limpia.



OBJETIVO.



OBJETIVO.

El objetivo general del trabajo, es dar una alternativa a la contaminación que causa en la facultad de estudios superiores Zaragoza las botellas de PET desechadas y las cuales son reciclables, utilizando los recursos con los que cuenta la facultad para dar al PET un tratamiento de limpieza fundamentado en procesos físico-químicos y pueda ser una opción de reuso y/o comercialización y de ingresos para la facultad de estudios superiores Zaragoza.

OBJETIVOS PARTICULARES.

Primero. Reducir el volumen que ocupan las botellas dentro de la facultad, llevándolas a molienda. La molienda de estas botellas con la cual se obtiene el PET en forma de hojuelas esta formada por los siguientes componentes.

- Etiqueta de papel.
- Etiqueta de polietileno.
- Polvo.
- Residuos de grasa.
- Pegamento para la adhesión de las etiquetas.

Segundo. La eliminación de dichas impurezas, para obtener la hojuela de PET limpia y pueda ser reutilizada en distintos procesos y/o comercializada.

Tercero. Establecer el proceso de limpieza de estas hojuelas dentro de la facultad de estudios superiores Zaragoza.

CAPITULO 1

GENERALIDADES.



“HISTORIA GENERAL DEL PET.”

La historia en México del PET inicio poco después de su introducción en 1977, debido a que algunos estados de la república Mexicana tenían leyes concernientes al almacenamiento de todos los recipientes de bebidas. Para el año de 1989 el ritmo de reciclaje se había incrementado en un 23% superior al 10% de 1982. Más de 90% del desperdicio de botellas fueron colectados de depósitos estatales en 1989.

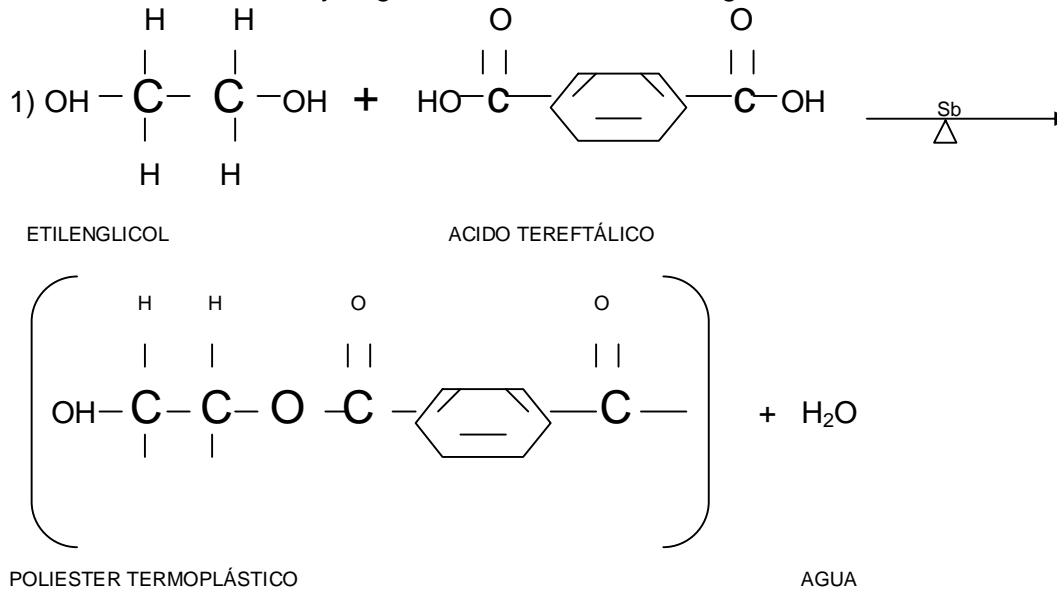
Para el futuro, se espera que una mayor cantidad se recolecte y se recicle. La tecnología de este reciclado ha progresado durante el curso de la década anterior. Aunque la mayoría de los sistemas comerciales de reciclaje dependen de un sistema de flotación o hidrociclado para separar el PET del polietileno de alta densidad (HDPE), nuevos métodos se han desarrollado. Uno de los principales contaminantes usados para el reciclaje del PET, es el adhesivo utilizado para fijar etiquetas en la botella. Con el uso de tecnologías recientes, este problema se ha superado. Nuevos mercados se han abierto al reciclaje del PET; si antes los mercados eran una preocupación, ahora, el suministro de este plástico lo es. Se han abierto nuevos mercados para las botellas recicladas de PET, se trata de botellas no utilizadas para contener bebidas de consumo humano. Estos mercados son especialmente atractivos porque forman un ciclo de reciclado cerrado.

Por mucho tiempo el PET se ha identificado como un “poliéster” en forma de fibra. Las primeras muestras de laboratorio de esta, fueron desarrolladas por una pequeña empresa inglesa en 1941. la investigación en poliesteres había comenzado en Europa y en los Estados Unidos, poco después de la segunda guerra mundial , en los años 50, esta investigación estaba dedicada enteramente a los textiles. En 1962, la compañía Goodyear creo la primera industria de neumáticos de poliéster y fue solamente hasta finales de los años 60 y principios de los 70 que se desarrollaron poliesteres para el almacenamiento de: películas, hojas, recubrimientos y botellas.



QUIMICA DEL PET.

El PET es un polímero derivado del ácido tereftálico (TPA) o tereftalato de dimetilo y de los glicoles, aunque en general es el Etilenglicol (EG). La polimerización de PET se produce calentando los anteriores compuestos con un catalizador de antimonio y después, removiendo el agua producida, la reacción entre el ácido y el glicol se muestran en la siguiente reacción.



El producto es un polímero lineal, con buena resistencia a los disolventes. Este tipo de polímero se vende en forma de fibras y películas con diferentes nombres comerciales.

Fibra: 1) Dacron.
2) Kodel.

Película: 1) Mylar.
2) Celanar.

Recientemente se ha vuelto muy popular una modificación de este poliéster lineal que se usa para moldeo y extrusión. Este plástico se fabrica a partir de butilenglicol en lugar del etilenglicol y el producto es un tereftalato de polibutideno (PBT) el material se comercializa con los siguientes nombres:

- 1) Celanex.
- 2) Politereftalato Tenite.
- 3) Valox.

Estos productos tienen resistencias altas a la tracción y a la flexión, un coeficiente de fricción bajo y buena resistencia química. [1, Química y tecnología de los plásticos. Walter E. Driver. 1981] [pags. 26, 27]

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



Las materias primas básicas para la producción del PET, son el petróleo crudo y algún gas natural licuado. (etano, propano y butano). El p- xileno es obtenido del petróleo crudo y oxidado para convertirse en un Acido tereftálico (TPA). El etileno proveniente del petróleo crudo o el gas natural es oxidado hasta obtener oxido de etileno, y después hidratado para llegar al etilenglicol (E.G.) [2, Procesamiento de plasticos.D.H. Morton-Jones.1993] [pags. 24,38,39,150,161,164-165]

La reacción de condensación tiende a darse en 2 pasos. En el primer paso se forma un precursor de bajo peso molecular, el cual es transesterificado para formar una resina de alto peso molecular. En esta etapa, el peso molecular de este polímero, medido por su viscosidad intrínseca (I V) alcanza valores de entre 0.58- 0.67 dl/g.

Para los años 70, la industria requería de un PET de alto peso molecular para fabricar contenedores. Este polímero fue fabricado mediante la anterior polimerización de un poliéster de grado, mediante un proceso llamado de "solidificación", el peso molecular del PET es función de su uso, entre mayor sea el peso requerido, mayor será el tiempo de solidificado. El PET solidificado es empleado principalmente para fabricar botellas aunque también puede emplearse para fabricar utensilios.

PROPIEDADES DEL PET.

- Alta rigidez y dureza.
- Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes.
- Superficie barnizable.
- Gran indeformabilidad al calor.
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.
- Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie alta resistencia al plegado. Tiene una alta absorción de humedad, por lo que se requiere eliminación de humedad.
- Adecuado para la fabricación de fibras.

El PET esta reemplazando al vidrio, pero no solo eso, si no también y en medida creciente al PVC y otros plásticos con los que todavía se fabrican botellas y envases similares de consistencia sintética. La multitud de evidentes virtudes del PET convencen cada día a más usuarios y consumidores. Este es el motivo para que este polímero típico crezca para envasamiento de alimentos y más opciones. Se emplea generalmente en envases y botellas, frecuentemente contiene estabilizantes y retardantes de flama. La cantidad total de pigmentos y aditivos que contiene puede alcanzar el 30% de su peso. Su producción emplea sustancias irritantes y durante su producción pueden emplearse metales pesados como catalizadores, mismos que terminaran siendo liberados al ambiente. Sin embargo se considera que el PET no ocasiona impactos severos a la salud, y representa un riesgo menor para el ambiente que el PVC..



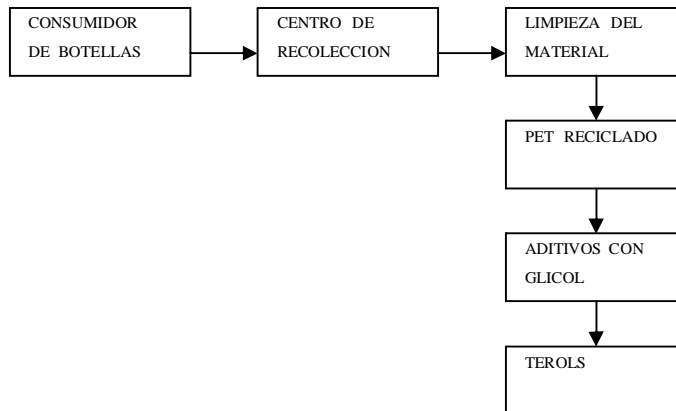
EL PET EN LA INDUSTRIA

Es importante tratar este tema, actualmente las grandes industrias voltean los ojos hacia las grandes cantidades que se generan diariamente de sólidos, específicamente en el PET. Como se ha venido mencionando, es mucho el volumen que se requiere para almacenar dicho sólido, así la alternativa para almacenarlo es compactarlo. Aunque también, las grandes industrias cuentan con infraestructura para tratar este sólido, como son molinos, para obtenerlo en hojuelas y equipos de lavado, por tanto es importante recalcar que a pesar de la poca difusión, el reciclaje de PET comienza a tomar fuerza..

El problema que ocasiona el desecho de este polímero es grave, por espacio, por contaminación al ambiente, pues contribuye al aumento de basura en las grandes ciudades, el problema nos incluye al mundo entero, pues tanto en Europa, como en Estados Unidos, se producen grandes cantidades diarias de esta basura, En México hace falta mayor difusión de información sobre como reciclar el PET, pues después que consumimos una bebida o un alimento desechamos el envase, por falta de conocimiento acerca de reutilizar este material, con ello se crearían nuevos empleos, nuevos productos, y en algún momento, como ocurre en Alemania, poder fabricar botellas de nueva cuenta para almacenar bebidas o alimentos. Se conoce que la coca cola por ejemplo, se dedica a comprar toneladas de PET reciclado para poderlo procesar y darle un uso posterior, sin embargo, no es suficiente. Caso contrario, en Estados Unidos, empieza un proceso bien definido del reciclaje, desde el consumidor, quien almacena los plásticos que contienen bebidas desde su hogar, después; el material recolectado es llevado a un centro de recolección que se ubica a unos pocos metros de su hogar, estos centros los reciben y se dedican a procesarlos para darles un reuso, el costo del reciclaje esta limitado solo al costo de su proceso, ya que el consumidor no recibe ningún dinero a cambio de recolectar las botellas. Es importante recalcar que el PET reciclado, es utilizado en combinación con PET virgen, o puede ser procesado con metanolisis.



ESQUEMA TRADICIONAL PARA RECICLAJE DE PET.



Hay industrias manufactureras que utilizan este producto para crear utensilios para el hogar como es tupperware, en china, se utiliza para fabricar fibras similares al algodón. Industrialmente el PET reciclado puede ser convertido en poliéster poliylol, para poder ser utilizado en la fabricación de aislantes con uretano. En Estados Unidos, el PET reciclado es procesado a partir de una metanolisis, para emplearlo con uretano, una gran ventaja de utilizar el PET en la industria de los aislantes es el ahorro de energía, en el proceso de fabricación de estos y un mejor aislamiento en los productos terminados. Sin embargo, la metanolisis tiene una desventaja, y es monetaria, cuesta mucho capital realizarla, con el fin de obtener poliéster polilol En Europa ahora se conoce que los tipos de poliéster polilol derivados del PET, pueden ser de una buena calidad para aislantes, incluso la norma ISO-9002 ha dado una certificación de ello. Aunque el proceso para tratar el PET reciclado data de los años finales de la década de los años 60's no es sino hasta en tiempos actuales que se ha manejado considerando operaciones unitarias para el tratamiento del PET, como son molienda, filtración, secado, y el estudio de transferencia de masa, por ejemplo; la diferencia de densidades.

La industria ha considerado cinco pasos fundamentales en el proceso de la limpieza para el PET, estos son:



- 1) removimiento de etiqueta
- 2) separación por flotación.
- 3) Lavado con solución acuosa cáustica caliente.
- 4) Enjuague y separación por flotación
- 5) Removimiento de aluminio.

El proceso de limpieza inicia cuando grandes cantidades de botella son expuestas a flujo positivo y negativo de aire para remover papel y polipropileno en forma de película que pueda estar asociado con las etiquetas. El siguiente paso es tener suspendidos en un tanque de agua a temperatura ambiente el PET, y partir de una acción hidráulica, se separan otros plásticos del PET, usando la diferencia de densidades de los componentes, usando esta técnica, el PET con gravedad específica de 1.30-1.36 g/cc se separara de otros polímeros componentes de una botella de PET como son polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) o etil-vinilacetato(EVA), los cuales flotarán. Posteriormente, de la remoción de estos plásticos, el PET es sumergido en una disolución acuosa cáustica caliente y surfactante para remover el etilen-vinilalcohol (EVOH) y etilen-vinilacetato (EVA), adhesivos básicos en las etiquetas pegadas en las botellas de PET. El cuarto paso es resuspender el PET en agua para eliminar residuos cáusticos, y algunos componentes plásticos ajenos al PET. El último paso del proceso consiste en separar algunos residuos de aluminio del PET. Generalmente se hace esto usando una separación electrostática:

IMPACTO AMBIENTAL DEL PET EN MÉXICO

Como resultado de las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, se generan una serie de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden tener efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. Ejemplo de ellos son los residuos sólidos municipales (RSM). Éstos son generados en las casas habitación y provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos como residuos de otra índole. En los últimos años, la generación total de RSM se incrementó, alcanzando 34.6 millones de toneladas en el año 2004.

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



Los RSM se producen mayormente en la región Centro (50%), siguiéndole la región Norte (18%), el Distrito Federal (13%), posteriormente la zona sur (10%), y finalmente la frontera norte(9%) Durante el periodo 1997-2004, como lo indica la figura 1.1



FIGURA 1.1 GENERACION DE RSM POR ZONAS EN EL PAIS.

Cabe señalar que la zona Centro, la Frontera Norte y la zona Sur incrementaron de manera significativa su generación de residuos (24%, 35% y 17% respectivamente), destacando la zona Centro que alcanzó una generación de 17 millones de toneladas de RSM en 2004, como lo indica la figura 1.2

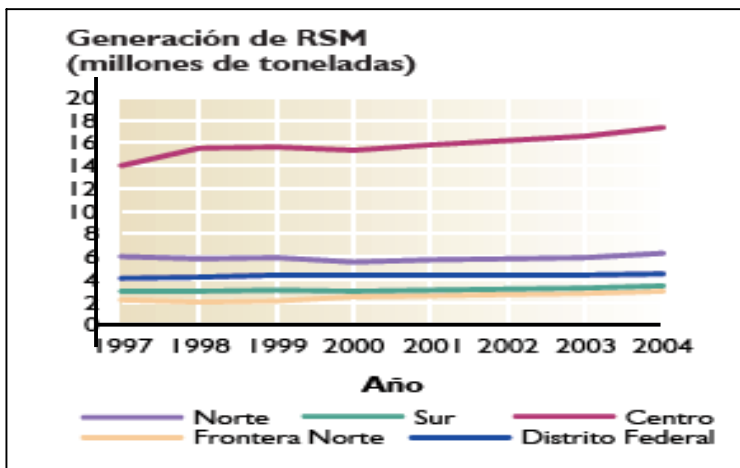


FIGURA 1.2 GRAFICA QUE MUESTRA LA TENDENCIA DE RSM DE 1997 A 2004

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



A pesar de que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos define claramente los residuos sólidos urbanos, en este documento se hará referencia a los residuos sólidos municipales, debido a que la información con que se cuenta fue generada con base en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, que establece el método para la determinación de la generación de residuos sólidos municipales.

Generación de residuos sólidos municipales per cápita y por composición

Además del incremento en la cantidad total de residuos generados en el país, la generación per cápita a nivel nacional también ha aumentado. De 1997 a 2004 la generación per cápita se incrementó un promedio de 4 kilogramos al año, alcanzando la cifra de 328 kilogramos por habitante. Esta generación muestra diferencias importantes entre los diferentes estados. Los habitantes de estados muy urbanizados como el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México y Baja California generaron en el año 2004 más de un kilo de residuos diarios por persona, en contraste con lo que generaron en promedio los habitantes de estados menos urbanizados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, Zacatecas y Tlaxcala, cuya generación no rebasó los 700 gramos diarios. La composición de los residuos sólidos municipales (RSM) depende de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos. En México, poco más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines, etc.). De 1995 al año 2004 no se han observado cambios importantes en la proporción relativa del tipo residuos generados, como se ilustra en las figuras 1.3 y 1.4



FIGURA 1.3 GENERACIÓN DE RSM PERCAPITA 2004.

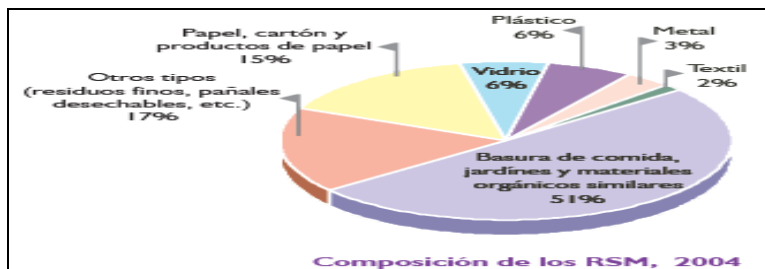


FIGURA 1.4 GRAFICA DE PASTEL, COMPOSICION EN PORCENTAJES DE RSM AÑO 2004



Manejo y disposición de residuos sólidos municipales

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) comprende desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición en algún sitio. Aún no se han incorporado en todo el territorio nacional técnicas modernas para la solución de este problema, por lo que es relativamente frecuente que los residuos se viertan sobre depresiones naturales del terreno. Un aspecto importante del manejo es la recolección de los RSM, en 1998 se recolectaba cerca del 85% del total generado y en 2004 esta cifra ascendió a 87%. Actualmente, la mejor solución para la disposición final de los RSM son los rellenos sanitarios. Hasta el 2001 pocas ciudades contaban con este tipo de instalaciones operando en condiciones sanitarias adecuadas, sin embargo, para el año 2004, sólo el estado de Oaxaca no reportaba la existencia de rellenos sanitarios. México ha logrado un enorme avance, ya que de 1995 a 2004 el número de rellenos sanitarios se triplicó y la cantidad de RSM que se depositaron en ellos aumentó de 5.9 a 18.3 millones de toneladas (52% de los RSM generados en 2004). El resto aún se deposita en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (32.9%). Los mayores avances se han dado en las ciudades: en 2004, el 61% de los residuos depositados en rellenos sanitarios y de tierra controlados se ubicó en zonas metropolitanas y 37% en ciudades medias. Figuras 1.5 y 1.6



FIGURA 1.5 DISPOSICIÓN FINAL DE RSM EN EL AÑO 2004

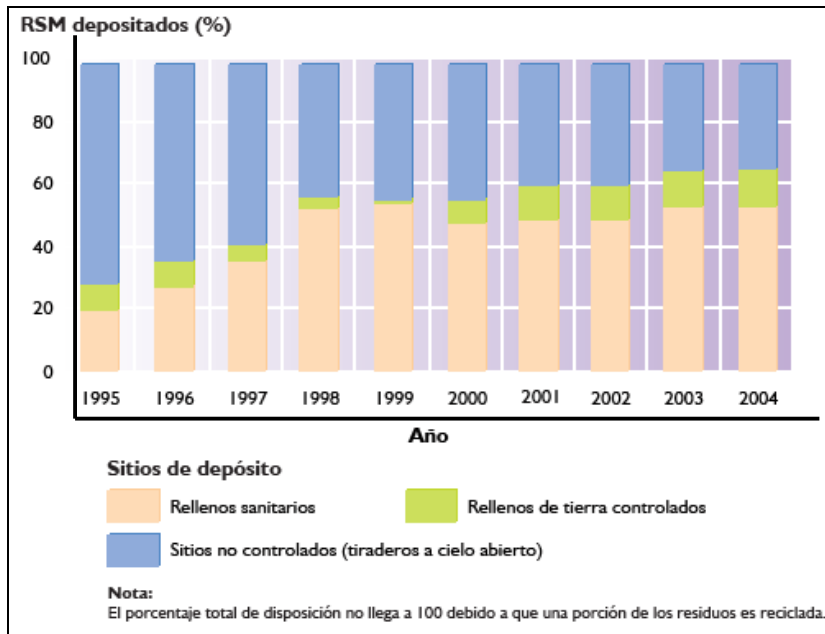


FIGURA 1.6 GRAFICA QUE MUESTRA LA TENDENCIA DE RSM COMO RELLENOS SANITARIOS DE 1995 A 2004

La grafica expuesta arriba, nos muestra la tendencia que se tiene con los residuos sólidos. Para 1995 se tiene 18% en el que como disposición final de RSM se maneja relleno sanitario; un 10% en el como disposición final se tiene relleno de tierra y 72% en el como disposición final están los tiraderos a cielo abierto. Para el año 2004, gráficamente se observa una situación contraria a la de 1995, con 49% de rellenos sanitarios como disposición final, 12 % de rellenos de tierra y 39 % de tiraderos a cielo abierto.

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



RECICLAJE DEL PET EN MEXICO.

La siguiente tabla muestra las empresas que se dedican en México al reciclaje de plásticos, incluyendo el PET.

ANÁLISIS DEL MERCADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
RECICLABLES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL DE DESARROLLO

ANEXO 4
DIRECTORIO DE EMPRESAS RECICLADORAS

EMPRESA	DOMICILIO	TÉLEFONO	FAX	E-MAIL	ACTIVIDAD
Flexiductos Plásticos, S.A. Ing. Eduardo Hernández	Av. Revolución # 166 Col. Tepalcates C.P. 09210 México, D.F.	57-63-92-68 57-63-25-34	57-58-57-87	No proporcionado	Reciclado de plástico
Plásticos Reacondicionados, S.A. de C.V. Ing. Jesús Godines Díaz	Calle 3ra. Sur # 41-1 Col. Independencia C.P. 54914 Tultitlán, Edo. de México	58-94-00-01	58-94-00-04	No proporcionado	Reciclado de botellas, y cubetas para uso industrial
Proarce, S.A. de C.V. Sr. Francisco Javier Daura	Calle 8 # 3 Col. Fracc. Inds. Alce Blanco C.P. 53370 Naucalpan, Edo. de México	53-58-12-33 55-76-18-97	53-58-19-76 53 58 19 54	No proporcionado	Poliuretano, polipropileno y poliestireno
Hernández Doncel, S.A. de C.V. Sr. Rodolfo Hernández	Av. Revolución # 166 Col. Tepalcates C.P. 09210 México, D.F.	57-63-25-34 57-63-92-68	57-58-57-87	No proporcionado	Reciclado de plástico
Joandian Plastic's Sr. Mauricio Bracho Loaeza	Agustín Olachez # 182 Col. Adolfo López Mateos C.P. 15670 México, D.F.	57-58-85-35 57-63-56-66	No proporcionado	No proporcionado	Recuperación de plásticos, Poliuretano, Polipropileno, Nylon etc.
Plásticos y Maquilas Ego Lic. Victor E. Gómez Noriega	Tamagno # 209 Col. Vallejo C.P. 07870 México, D.F.	55-37-73-10	55-37-73-10	No proporcionado	Reciclator, HDPE y LDPE
Poliuretanos Industriales, S.A. de C.V. Lic. José T. López Hernández	Libertad Sur # 11 Col. Sta. Clara C.P. 55540 Ecatepec, Edo. de México	57-88-59-17- 57-88-61-92	57-88-61-92	No proporcionado	Reciclado de poliuretano alta densidad, baja densidad y lineal
Plásticos del Sur, S.A. de C.V. Sr. Alejandro Cárdenas	Morelos # 21 Col. El Rosario Tlahuac C.P. 13530 México, D.F.	55-85-72-55 55-85-72-68	55-85-73-19	No proporcionado	Reciclado de polipropileno laminado en diferentes espesores
Plásticos Industrializados, S.A. Ing. Eugenio Gómez Santamaría	Girardón 71-B Col. Santa María Nonoalco C.P. 01420 México, D.F.	56-11-23-33 55-63-47-51	56-11-57-92	No proporcionado	Reciclado de plástico

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



ANÁLISIS DEL MERCADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
RECICLABLES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL DE DESARROLLO

ANEXO 4
DIRECTORIO DE EMPRESAS RECICLADORAS

EMPRESA	DOMICILIO	TELÉFONO	FAX	E-MAIL	ACTIVIDAD
Recicle, S.A. de C.V. Ing. Javier Bustos Solano Lic. Enrique Bustos Soria	Culturas Prehispánicas # 69 Col. Granjas San Antonio C.P. 07090 México, D. F.	55-81-21-28	55-81-21-28 56-70-87-50	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Reco Plastic, S.A. de C.V. Sr. Francisco Almazan Cerón	Prolongación Miguel Allende # 35 C.P. 54900 Tultitlan, Edo. de México	58-88-25-08	58-88-25-08	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recover, S.A. de C.V. Sr. Federico Bernot	Carrillo Puerto # 667 Col. Pensil C.P. 11320 México, D.F.	53-99-22-13 55-27-31-28	53-99-22-13	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recuperadora de Plásticos Dacer, S.A. de C.V. Ing. Daniel Segall	Av. La Joya # 10 Col. Cuautitlan Izcalli	58-72-46-31	No proporcionado	No proporcionado	Moliendas, compactado y peletizado
Resinas y Recicladores Plásticos, S.A. de C.V. Ing. Victor M. Barrero	Paseo Cuahunahuac Km. 13.9 Col. Progreso C.P. 62550 Jiutepec, Morelos	01(73) 20-92-34	No proporcionado	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Retomex, S.A. de C.V. Sr. Agustín García	16 de Septiembre # 20 Col. Tecamachalco C.P. 56500 Los Reyes La Paz, Edo. de México	58-57-38-67	58-57-38-67	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Siller, Vicuña y Asociados, S.A. Arq. Rafael Visuña Gutiérrez	Priv. Alejandras # 2 Col. 3 de Mayo Zapata Morelos	01(739) 131-00	01(739) 121-04	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recuperadora y Transf. de Plásticos Joar Sr. José Luis Escobedo Herrera	3ra. Cda. Plan de Ayala Mz. 13 Lt.12 Col. Carlos Hank González C.P. 09700 México, D.F.	56-93-50-57	No proporcionado	No proporcionado	Recuperación de plásticos poliducto y pigmento
Repesa, S.A. de C.V. Sra. Cecilia Barriero	Av. Acueducto # 387 Col. Santa Isabel Tola C.P. 07010 México, D.F.	55-77-41-22 57-81-90-93	55-77-41-22 53-41-94-97	No proporcionado	Recuperación de plásticos

CAPITULO 1. GENERALIDADES.



ANÁLISIS DEL MERCADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
RECICLABLES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL DE DESARROLLO

ANEXO 4
DIRECTORIO DE EMPRESAS RECICLADORAS

EMPRESA	DOMICILIO	TELÉFONO	FAX	E-MAIL	ACTIVIDAD
Recicle, S.A. de C.V. Ing. Javier Bustos Solano Lic. Enrique Bustos Soria	Culturas Prehispánicas # 69 Col. Granjas San Antonio C.P. 07090 México, D. F.	55-81-21-28	55-81-21-28 56-70-87-50	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Reco Plastic, S.A. de C.V. Sr. Francisco Almazan Cerón	Prolongación Miguel Allende # 35 C.P. 54900 Tultitlan, Edo. de México	58-88-25-08	58-88-25-08	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recover, S.A. de C.V. Sr. Federico Bernot	Carrillo Puerto # 667 Col. Pensil C.P. 11320 México, D.F.	53-99-22-13 55-27-31-28	53-99-22-13	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recuperadora de Plásticos Dacer, S.A. de C.V. Ing. Daniel Segall	Av. La Joya # 10 Col. Cuautitlan Izcalli	58-72-46-31	No proporcionado	No proporcionado	Moliendas, compactado y peletizado
Resinas y Recicladores Plásticos, S.A. de C.V. Ing. Victor M. Barrero	Paseo Cuahunahuac Km. 13.9 Col. Progreso C.P. 62550 Jiutepec, Morelos	01(73) 20-92-34	No proporcionado	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Retomex, S.A. de C.V. Sr. Agustín García	16 de Septiembre # 20 Col. Tecamachalco C.P. 56500 Los Reyes La Paz, Edo. de México	58-57-38-67	58-57-38-67	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Siller, Vicuña y Asociados, S.A. Arq. Rafael Visuña Gutiérrez	Priv. Alejandras # 2 Col. 3 de Mayo Zapata Morelos	01(739) 131-00	01(739) 121-04	No proporcionado	Recicladores de Plásticos
Recuperadora y Transf. de Plásticos Joar Sr. José Luis Escobedo Herrera	3ra. Cda. Plan de Ayala Mz. 13 Lt.12 Col. Carlos Hank González C.P. 09700 México, D.F.	56-93-50-57	No proporcionado	No proporcionado	Recuperación de plásticos poliducto y pigmento
Repesa, S.A. de C.V. Sra. Cecilia Barriero	Av. Acueducto # 387 Col. Santa Isabel Tola C.P. 07010 México, D.F.	55-77-41-22 57-81-90-93	55-77-41-22 53-41-94-97	No proporcionado	Recuperación de plásticos

CAPITULO 1. GENERALIDADES



ANÁLISIS DEL MERCADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
RECICLABLES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL DE DESARROLLO

ANEXO 4
DIRECTORIO DE EMPRESAS RECICLADORAS

EMPRESA	DOMICILIO	TELÉFONO	FAX	E-MAIL	ACTIVIDAD
Reprocesadora Termoplástica, S.A. de C.V. Sr. Rafael Avedaño Ibarra	Cumbres de Maltrada # 480 Col. Américas Unidas C.P. 03610 México, D.F.	55-90-67-57	No proporcionado	No proporcionado	Reciclados de plásticos
Grupo Crisol Reciclados Crisol S.A. de C.V. Dir. Greal. Ing. José Pérez Celis	Periferico Sur 4407 Col. Jardines de la Montaña 14210 Méx. D.F.	54-49-39-00	56-45-47-17	No proporcionado	Reciclado PET
KIMEX Ing. Quiroz	Panama s/n	56-27-01-00	No proporcionado	No proporcionado	Reciclado PET

CAPITULO 2

DISEÑO EXPERIMENTAL.



MOLIENDA

REDUCCION DE TAMAÑO.

El termino reducción de tamaño se aplica a todas las formas en que las partículas de sólidos se cortan o rompen en otras mas pequeñas. En la industria, los sólidos se reducen de tamaño por diferentes medios y con fines también diferentes. Un ejemplo son los minerales extraídos de los yacimientos los cuales se trituran para obtener tamaños mas manejables, los productos químicos se muelen hasta obtener polvos; las laminas de materiales plásticos se cortan en pequeños cubos,. Los productos comerciales deben cumplir a menudo diferentes especificaciones en cuanto a tamaño y en algunos casos, en la forma de la partícula. La reducción de tamaño de las partículas aumenta reactividad de los sólidos, permite la separación de los componentes no deseados por medios mecánicos y reduce el volumen de materiales fibrosos que son fáciles de manejar.

Los sólidos pueden romperse de 8 o 9 maneras diferentes, pero comúnmente solo se emplean 4 en las maquinas de reducción de tamaño. Estos son (1) compresión; (2) impacto; (3) frotamiento de cizalla y (4) cortado. Un cascanueces, un martillo, una lima y unas tijeras son ejemplos de los 4 tipos de acción, en general, la compresión se usa para la reducción tosca de sólidos duros, obteniéndose poca cantidad de finos; el impacto da productos gruesos, medios o finos; el frotamiento da productos muy finos a partir de materiales blandos y no abrasivos, el cortado da un tamaño de partícula definido y, a veces , forma definida, con poca o ninguna cantidad de finos.

FUNDAMENTOS DE LA DESINTEGRACION MECANICA.

CRITERIOS DE LA DESINTEGRACION MECANICA.

Desintegración mecánica es un concepto genérico empleado para la reducción de tamaño; las trituradoras y los molinos son apartados típicos del equipo de desintegración mecánica. Un molino o trituradora ideales deben tener: (1) tener gran capacidad (2) requerir una potencia pequeña por unidad de producto, (3) dar un producto de tamaño único o con una distribución de tamaños deseada. El método usual de estudio del rendimiento de un equipo de trituración es tomar una operación ideal como patrón y comparar las características del equipo real con las de unidad ideal, teniendo en cuenta las diferencias entre ambos. Cuando se aplica este método a los aparatos de trituración, las discrepancias entre los equipos real e ideal son considerables y no es posible tener en cuenta todas ellas, ni siquiera desde el punto de vista teórico. Sin embargo se obtiene información cuantitativa muy útil a partir de la teoría incompleta de que actualmente se dispone.



Se comprende mejor la capacidad de las maquinas para desintegración mecánica cuando se describen los tipos particulares del equipo empleado, sin embargo los aspectos fundamentales del tamaño y forma de producto, así como las necesidades de energía, son comunes a la mayoría de las maquinas y pueden abordarse desde un punto de vista mas general.

CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS DESINTEGRADOS MECANICAMENTE.

El objetivo de la trituración y molienda es producir partículas pequeñas a partir de otras mayores. La obtención de las partículas pequeñas a partir de otras más grandes, la obtención de partículas pequeñas tiene interés, bien a causa de su gran superficie o bien a causa de su forma, tamaño y número. El rendimiento energético de la operación se mide por la nueva superficie creada durante la reducción de tamaño. Por estas razones las características geométricas de las partículas tanto aisladas como en sus mezclas, son importantes al evaluar el producto obtenido en una trituradora o en un molino.

A diferencia de un molino o trituradora ideales, una unidad real no da lugar a un producto uniforme, independientemente de que la alimentación tenga un tamaño uniforme o no. el producto siempre esta formado por una mezcla de partículas cuyo tamaño fluctúa desde un máximo hasta un mínimo submicroscopico, alguna maquinas especialmente los molinos, se diseñan de modo que controlen las dimensiones mas grandes del producto, pero los tamaños finos quedan fuera de control. En algunos tipos de molinos se puede disminuir la cantidad de finos, pero no eliminarlos. Si la alimentación es homogénea, tanto en la forma de las partículas, como en su estructura física y química, la forma de las partículas individuales del producto puede ser bastante uniforme; de no ser así los granos de los distintos tamaños de un mismo producto pueden variar en un intervalo considerable.

El grano mas pequeño de un producto triturado puede compararse en tamaño a un cristal unidad, que es la unidad mas pequeña del material que puede existir como un cristal independiente. Este tamaño es de orden 10^{-3} mm o 10^{-4} cm. Si por ejemplo, la partícula mayor de un producto tiene una apertura de malla de 1 mm, la relación de los diámetros de la partícula mayor y menor es del orden 10^{-1} ; 10^{-7} o sea 10^6 . Debido a la gran variedad de los tamaños de las partículas individuales, es preciso modificar las relaciones correspondientes para los tamaños inferiores, cuando se aplican a las mezclas. El termino “tamaño medio” no tiene sentido mientras no se defina el método a emplear utilizando



abrasión, y si no se redondean por este medio, las partículas trituradas tienen forma poliédrica con caras casi planas y aristas y vértices agudos.

El número de caras principales puede variar, pero generalmente está comprendido entre 4 y 7. Las partículas pueden ser compactas, con la longitud, anchura y espesor aproximadamente iguales o pueden tener la forma de laminas o agujas.

ENERGIA Y POTENCIA NECESARIAS PARA TRITURACION.

Los costes de energía son el gasto principal en trituración y molienda, de modo que los factores que controlan estos costes son importantes. Durante la reducción de tamaño, las partículas del material de alimentación se someten a un esfuerzo de tensión y el trabajo necesario para deformarlas se acumula temporalmente en el sólido como energía de esfuerzo mecánico, de la misma forma que puede acumularse energía mecánica en un muelle. A medida que se aplica una fuerza adicional a las partículas ya deformadas, se distorsionan por encima de su resistencia máxima y repentinamente se rompen en fragmentos. Se origina así una nueva superficie, puesto que una unidad de área de sólido posee una cantidad de energía superficial, la creación de una superficie requiere de un trabajo que es suministrado por la liberación de la energía de tensión cuando se rompen las partículas. De acuerdo con el principio de conservación de energía, todo exceso de energía de tensión sobre la nueva energía superficial creada debe aparecer como calor.

RENDIMIENTO DE TRITURACION

La relación entre la energía superficial creada por trituración y la energía absorbida por el sólido denomina rendimiento de trituración y se representa por η_c si e_s es la energía superficial por unidad área, en kilogramos fuerza metro por metro cuadrado y A_{wb} y A_{wa} son respectivamente, las áreas del producto y de la alimentación, en metros cuadrados por kilogramo, la energía absorbida por el material, W_n , en kilogramos fuerza metro por kilogramo, es

$$W_n = \frac{e_s (A_{wb} - A_{wa})}{n_c} \dots (1)$$

La energía superficial producida por la fractura es pequeña en comparación con la energía mecánica total almacenada en el material en el momento de la ruptura y la mayor parte de esta se convierte en calor. Por consiguiente, el rendimiento de trituración es bajo. Estos rendimientos se han determinado experimentalmente estimando e_s a partir de las teorías del estado sólido, midiendo W_n , A_{wb} , y A_{wa} y sustituyendo dichos valores en la ecuación (1).



La exactitud del cálculo es baja, especialmente por el cálculo en la incertidumbre en el cálculo de e_s , pero los resultados demuestran que los rendimientos de trituración fluctúan entre 0.1 y 2 por ciento.

La energía absorbida por el sólido W_n es menor que la suministrada a la maquina. Parte de la energía suministrada, W kg,m/kg, se emplea para vencer la fricción en los cojinetes y en otras partes móviles, y el resto queda disponible para la trituración. La relación entre la energía absorbida y la suministrada es el rendimiento mecánico η_m así, si W es la energía suministrada.

$$W = \frac{W_n}{n_m} = \frac{e_s (A_{wb} - A_{wa})}{n_m n_c} \dots (2)$$

Si T es la velocidad de alimentación, en toneladas por minuto, la potencia requerida por la maquina, en caballos de vapor, es.

$$P = \frac{1.000WT}{4.500} = \frac{1.000Te_s (A_{wb} - A_{wa})}{4.500n_c n_m} \dots (3)$$

Calculando A_{wb} y A_{wa} con la siguiente ecuación y substituyendo en la ecuación (3) se obtiene.

$$P = \frac{1.00 \times 6Te_s}{4.500n_c n_{mpp}} \left(\frac{\lambda_b}{D_{vsb}} - \frac{\lambda_a}{D_{vsa}} \right) \dots (4)$$

$$= \frac{4}{3} \frac{Te_s}{n_c n_m \rho_p} \left(\frac{\lambda_b}{D_{vsb}} - \frac{\lambda_a}{D_{vsa}} \right)$$

Siendo

P = Potencia, CV

T = Velocidad de alimentación, Tm / min

e_s = energía superficial especifica, Kg_f m/m²

n_m = rendimiento mecánico

n_c = rendimiento de trituración

ρ_p = densidad de las partículas, Kg./ m³

D_{vsa} , D_{vsb} = diámetro medio superficie volumen de la alimentación y el producto, respectivamente.

λ_a λ_b = factores de forma para la alimentación y el producto, adimensionales



EQUIPOS PARA REDUCCION DE TAMAÑO

El equipo de reducción de tamaño se divide en trituradoras, molinos, molinos de ultra finos y maquinas cortadoras. Las trituradoras realizan el trabajo mas duro de romper grandes trozos de material sólido en pedazos pequeños. Una trituradora primaria opera sobre el material en bruto, recibéndolo tal y como proviene de la mina y rompiéndolo en trozos de 15 a 25 cm. Una trituradora secundaria, reduce estos trozos a un tamaño aproximado de 0.5 cm. Los molinos reducen la alimentación triturada a polvo. El producto de un molino intermedio podría pasar de un tamiz de malla 40; la mayor parte del producto de un molino de finos pasara por un tamiz de malla 200. un molino de ultra finos no acepta partículas de alimentación superiores a 0.5 cm.; el tamaño del producto es de 1 a 50 micrones. Las cortadoras dan partículas de tamaño y forma definidos, con longitud entre 0.15 y 1.25 cm.

Las principales clases de máquina para reducción de tamaño son:

I.- Trituradoras (gruesos y finos).

- A. Trituradoras de mandíbulas.
- B Trituradoras giratorias.
- C Trituradoras de rodillos.

II.-Molinos (intermedios y finos)

- A. Molinos de martillos, impactadotes.
- B. Molinos giratorios de compresión
 - B.1 Molinos de compresión
 - B.2 Molinos de barras.
- C Molinos de fricción.
- D Molinos giratorios
 - D.1 Molinos de barras.
 - D.2 Molinos de bolas y guijarros
 - D.3 Molinos de tubos; molinos compartimentados.



III.- Molinos de ultra fino

- A. molinos de martillos con clasificación interna.
- B. Molinos que utilizan la energía de un fluido

IV.- Máquinas cortadoras.

- A. cortadoras de cuchilla, de cuadrado y de tiras.

Estas máquinas realizan su trabajo de forma completamente diferente. La compresión lenta es la característica de las máquinas trituradoras. Los molinos emplean impacto y frotamiento combinados a veces con compresión; los molinos de ultra finos operan principalmente por frotamiento. La acción cortante es, naturalmente, la característica de las cortadoras.

TRITURADORAS

Las trituradoras son máquinas de baja velocidad para la reducción tosca de grandes cantidades de sólidos. Los tipos principales son las trituradoras de mandíbulas, las trituradoras giratorias, las trituradoras de rodillos lisos y las trituradoras de rodillos dentados. Las tres primeras operan por compresión y pueden romperse grandes trozos de rocas y minerales. Las trituradoras de rodillos dentados trabajan con alimentaciones menos duras, como carbón huesos y pizarra blanda.

TRITURADORAS DE MANDIBULAS.

En una trituradora de mandíbula la alimentación se recibe entre dos mandíbulas que forman una V abierta por la parte superior. Una mandíbula, llamada fija es casi vertical, y no se mueve; la otra mandíbula, denominada oscilante, se encuentra en frente y tiene un movimiento alternativo en un plano horizontal, formando un ángulo de 20° a 30° con la mandíbula fija.

La mandíbula oscilante, accionada por una excéntrica, de modo que aplica una gran fuerza de compresión sobre los trozos atrapados entre las mandíbulas, las superficies de las mandíbulas son planas o ligeramente combadas y pueden llevar ranuras horizontales poco profundas. Los trozos grandes, atrapados en la parte superior, se rompen y caen en el espacio inferior más estrecho, donde se vuelven a triturar al cerrarse las mandíbulas. Cuando se alcanza la reducción necesaria, las partículas caen por el fondo del aparato. Las mandíbulas se abren y se cierran 250 a 400 veces por minuto.



El movimiento de la mandíbula libre determina los distintos tipos de estos aparatos. En una trituradora Dodge el punto de apoyo de la mandíbula móvil esta en el fondo de la V, de modo que el movimiento se localiza principalmente en la parte superior de las mandíbulas y apenas si se puede variar el tamaño superior al deseado y una gran cantidad de finos. También tiende a “bloquearse” o sea, a llenarse de material parcialmente triturado que ya no se descarga. Por esto , las trituradoras Dodge trabajan solo con tonelajes moderados de sólidos secos que fluyen libremente..

TRITURADORAS GIRATORIAS.

Una trituradora giratoria puede considerarse como una trituradora de mandíbulas circulares, entre las cuales se tritura el material en varios puntos. Un cabezal cónico de trituración gira dentro de una carcasa en forma de embudo y abierta por la parte superior. El cabezal de trituración esta en un fuerte eje, pivoteado en la parte superior de la maquina. Una excéntrica mueve el extremo inferior de dicho eje

La velocidad del cabezal varía entre 125 y 425 giros por minuto. La descarga de las trituradoras rotatorias es continua y no intermitente como en las de mandíbulas, porque en todo momento trabaja una parte del cabezal triturador. La carga sobre el motor es casi uniforme y tiene un menor coste de mantenimiento que las trituradoras de mandíbulas y la potencia necesaria por material triturado es también menor. Las mayores trituradoras giratorias tratan hasta 3,500 Tm/hr. La capacidad de una trituradora giratoria depende de la disposición del cabezal de trituración, la naturaleza del material de alimentación y la velocidad de giro de la maquina, la capacidad es casi independiente de la resistencia de compresión del material triturado.



TRITURADORAS DE RODILLOS LISOS.

Dos rodillos metálicos pesados de superficies lisas, que giran sobre ejes horizontales paralelos, son los elementos de trabajo que se explica a continuación; las partículas de la alimentación aprisionadas entre los rodillos se rompen durante la compresión y descargan por abajo. Los rodillos giran en sentido opuesto con la misma velocidad; tienen poca longitud y gran diámetro de forma que solo pueden tratar trozos moderadamente grandes. Los rodillos típicos tienen desde 60 cm de diámetro y 30 cm de largo, hasta 2 m de diámetro y 1 m de largo. Las velocidades de los rodillos fluctúan entre 50 y 300 rpm. Las trituradoras de rodillos se emplean como trituradoras secundarias con alimentaciones de 1 a 8 cm, dando productos desde 1 cm hasta aproximadamente malla 20.

El tamaño límite de las partículas que pueden ser atrapadas por rodillos de diámetro dado que se expone mas adelante. El tamaño de las partículas del producto depende del espacio entre los rodillos, al igual que la capacidad de una máquina dada. Las trituradoras de rodillos lisos dan pocos finos y prácticamente ningún tamaño superior al deseado. Operan mas eficazmente cuando se disponen para producir una relación de reducción de 3 ó 4 a 1; es decir, el diámetro máximo de las partículas producto es de $1/3$ ó $1/4$ del de la alimentación. Las fuerzas ejercidas por los rodillos son muy grandes, desde 1,000 hasta 7,000 kg f por centímetro de anchura del rodillo. Para permitir el paso del material irrompible sin daño para la maquina, debe montarse por lo menos uno de los rodillos sobre resortes.

El ángulo de presa es el ángulo entre las caras de rodillos en el nivel en que exactamente atrapan una partícula y la llevan a la zona de trituración.

TRITURADORAS DE RODILLOS DENTADOS

En muchas trituradoras de rodillos, las superficies de los rodillos llevan estrías, barras rompedoras o dientes, tales trituradoras pueden tener dos rodillos, como las trituradoras de rodillos lisos, o solo un rodillo que trabaja frente a una placa estacionaria curvada (26.10). Las maquinas que se conocen como desintegradoras tienen dos rodillos rigurosos que giran a velocidades diferentes y rompen en pedazos la alimentación. En otros casos uno de los rodillos es pequeño, esta provisto de barras trituradoras transversales y gira a una gran velocidad en las proximidades de un rodillo grande que gira lentamente. Algunos rodillos trituradores para materiales gruesos están provistos de dientes piramidales. Otros diseños emplean un gran número de discos dentados



delgados que cortan cintas u hojas del material. Las trituradoras de rodillos dentados son más versátiles que las de rodillos lisos, con la limitación de que no pueden operar sólidos muy duros. Operan no solo por compresión como lo hacen las maquinas de rodillos lisos, sino también por impacto y cizalladura. No están limitadas por el problema del ángulo de presa inherente a las trituradoras de rodillos lisos y pueden, por consiguiente, reducir partículas mucho mayores. Algunas trituradoras de doble rodillo dentado para tratar grandes cantidades se emplean para la reducción primaria de carbón o materiales similares. El tamaño de las partículas de la alimentación de estas maquinas puede ser hasta 50 cm; su capacidad llega hasta las 500 tm/hr

MOLINOS

El termino “molino” comprende una variedad de maquinas de reducción de tamaño para trabajo intermedio. El producto de una trituración se lleva a menudo a un molino, donde se reduce a polvo. Los tipos principales de molinos comerciales mas comunes son de martillos e impactadores, máquinas de rodamiento y compresión, molinos de frotamiento y molinos giratorios.

MOLINOS DE MARTILLOS E IMPACTADORES.

Todos estos molinos tienen un rotor de alta velocidad que gira dentro de una carcasa cilíndrica. El eje es, generalmente horizontal. La alimentación se introduce por la parte superior de la carcasa, se rompe y sale por una abertura en el fondo. En un molino de martillos las partículas son rotas por grupos de martillos móviles conectados a un disco giratorio. Una partícula de alimentación que entra en la zona de molienda no puede escapar y es golpeada por los martillos. Se quiebra en trozos que se proyectan contra la placa estacionaria dentro de la carcasa, donde se rompe en fragmentos todavía más pequeños. Estos a su vez son convertidos en polvo por los martillos que lo



empujan a través de un enrejado que cubre la abertura de las descarga. Frecuentemente se montan varios discos giratorios, de 15 a 45 cm de diámetro, sobre el mismo eje. Cada disco lleva montado de 4 a 8 martillos móviles, que pueden ser barras rectas de metal con extremos planos, alargados o agudos con un borde cortante. Los molinos intermedios de martillos dan un producto de tamaño de partícula entre 2.5 cm y malla 20. en los molinos de martillos para reducción fina, la velocidad periférica de los extremos de los martillos puede alcanzar los 7,000 m/ min.; reducen de 0.1 a 15 Tm/ hr a tamaños menores de malla 200. Los molinos de martillo muelen casi todo: sólidos fibrosos duros, como cortezas o cueros; virutas de acero; pastas húmedas blandas; arcilla pegajosa y rocas duras. Para reducción fina están limitados a los materiales blandos.

La capacidad y la potencia necesaria de un molino varía mucho de acuerdo con la alimentación y no se puede estimar con seguridad a partir de consideraciones teóricas. Lo mejor es recurrir a la información existente de cada caso y realizar ensayos con el molino en pequeña o gran escala, empleando el material que ha de tratarse. Los molinos comerciales reducen de 50 a 200 kg de sólido por hora y por caballo de vapor-hora de energía consumida.

Un impactador se parece a un molino de martillos, pero no tiene enrejado o tamiz. Las partículas se rompen solo por impacto, sin la fricción característica de los molinos de martillos. Los impactadores se emplean frecuentemente como maquinas de reducción primaria para rocas y minerales, tratando hasta 600 Tm/ hr. Dan partículas que son mas aproximadamente equidimensionales (cúbicas) que las partículas de forma laminar obtenidas en una trituradora de mandíbulas o en una giratoria. El rotor de un impactador, al igual que en los molinos de martillos, puede girar en ambas direcciones para prolongar la vida de los martillos.

MAQUINAS DE RODAMIENTO Y COMPRESION

En esta clase de molinos las partículas sólidas son aprisionadas y rotas entre un miembro giratorio y la cara de un anillo o carcasa. Los tipos comunes son pulverizadoras de anillo giratorio, los molinos de rulos y molinos y los molinos de rodillos. En los molinos de rodillos los rodillos cilíndricos verticales presiona con gran fuerza contra un anillo yunque fijo, o anillo de presión. Operan a velocidades moderadas con una trayectoria circular, unos rastrillos elevan los trozos sólidos desde el piso del molino y los llevan dentro del anillo y los cilindros, donde se efectúa la reducción.



El producto se retira del molino con una corriente de aire y va aun separador – clasificador, del cual se recirculan al molino para una reducción posterior, las partículas de mayor tamaño. En un molino de rulos y en algunos de rodillos se mueven los rulos o el anillo; los rodillos giran sobre los ejes estacionarios que pueden ser verticales u horizontales. Los molinos de esta clase se emplean en la reducción de caliza, clinker de cemento, y carbón. Pulverizan hasta 50 Tm/hr cuando se emplea un clasificador, el producto puede ser tan fino que el 99% pasa por un tamiz de malla 200.

MOLINOS DE FROTAMIENTO

En un molino de frotamiento, las partículas de sólidos blandos se frotan entre las caras planas estriadas de discos circulares giratorios. El eje de los discos se encuentra generalmente horizontal y, a veces, vertical. En un molino sencillo, un disco es estacionario y el otro gira; en una maquina de doble rotor, ambos discos giran a alta velocidad y en direcciones opuestas. La alimentación entra por una abertura en el eje uno de los discos, pasa a través del espacio estrecho entre los discos y descarga por la periferia sobre una carcasa estacionaria. La amplitud del espacio entre los discos es regulable dentro de ciertos límites. Por lo menos uno de los discos esta montado sobre resortes para que estos puedan separarse cuando se introduce material irrompible dentro del molino. Los molinos con diferentes diseños de estrías, rugosidades o dientes en los discos, realizan una variedad de operaciones que incluyen molienda, integración, granulación y trituración, e incluso algunas operaciones no relacionadas con la reducción del tamaño. Tales como mezclado y rizado. los molinos de frotamiento de un solo rotor, tienen discos de piedra esmeril para reducir sólidos como arcilla y talco, o discos metálicos para sólidos como madera, almidón, polvos insecticidas y cera de carnauba. Los discos metálicos son generalmente de fundición, aunque, a veces, se requiere discos de acero inoxidable para materiales corrosivos, los molinos de doble rotor muelen, en general hasta obtener productos más finos que los productos de un solo rotor, pero trabajan con alimentaciones mas blandas. Generalmente se pasa aire a través del molino para retirar el producto y prevenir atascamientos, y los discos pueden emplearse con agua o salmuera.

Los discos de un molino de un rotor tienen un diámetro que oscila entre 25 cm. y 1.50 m y giran a 350-700 rpm. En los molinos de doble rotor los discos giran mas rápidamente, entre 1,200 y 7,000 rpm. La alimentación se tritura



previamente hasta un tamaño máximo de 1 cm. aproximadamente y debe entrar con una velocidad uniforme y controlada. Los molinos de frotación tratan de $\frac{1}{2}$ a 8 Tm/hr, dando productos por un tamiz de malla 200. La energía necesaria depende grandemente de la naturaleza de la alimentación y del grado de reducción alcanzado y es mucho mayor que en los molinos y trituradoras ya descritos. Los valores típicos están comprendidos entre 10 y 100 hp- hr por tonelada de producto.

MOLINOS GIRATORIOS

Un molino giratorio consta de una carcasa cilíndrica, que gira lentamente alrededor de un eje horizontal y que esta llena a la mitad de su volumen con un elemento sólido de molienda. La carcasa es generalmente de acero, cubierta con una placa de acero con alto contenido de carbono, de porcelana, de sílice o de caucho. El material sólido de molienda, esta constituido por barras metálicas, en un molino material sólido de molienda esta constituido por barras metálicas, en un molino de barras; trozos de cadena o bolas de metal, goma o madera, en un molino de bolas; guijarros de pedernal o porcelana, o esferas de circonio, en un molino de guijarros. Para la reducción intermedia y fina de materiales abrasivos son insustituibles los molinos giratorios.

A diferencia de los molinos previamente expuestos, los cuales requieren alimentación continua, los molinos giratorios pueden ser continuos o discontinuos. En una máquina por cargas se coloca una cantidad determinada de sólido en el molino a través de una abertura en la carcasa, esta se cierra, y se hace girar el molino durante varias horas; luego se detiene y se descarga. En un molino continuo el sólido fluye estacionariamente a través de la carcasa giratoria, entrando por un extremo a través de un orificio, y saliendo por el extremo opuesto, bien por un muñón central o a través de aberturas periféricas de la carcasa.

En todos los molinos giratorios, los elementos de molienda se elevan unidos a la carcasa, aproximadamente hasta la altura máxima, de donde caen sobre las partículas que están por debajo. La energía gastada para elevar los elementos de molienda se utiliza para reducir el tamaño de las partículas. En algunos molinos giratorios, como en los de barras, la reducción se obtiene en gran parte compresión de las barras y por frotamiento, a medida de que las barras resbalan hacia abajo y giran unas sobre otras. Las barras son generalmente de

CAPITULO 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.



acero de 2 a 12 cm. de diámetro, existiendo siempre diversos tamaños en un molino determinado. Las barras se extienden por toda la longitud del molino, a veces, se evita que se salgan empleando extremos cónicos en la carcasa. Los molinos de barras son intermedios y reducen una alimentación de 2 cm hasta malla 10, preparando a menudo el producto de una trituradora para la reducción final en un molino de bolas. Los molinos giratorios dan un producto con pequeña proporción de tamaños superiores y un mínimo de finos.

En un molino de bolas o de guijarros la mayor parte de la reducción se efectúa por impacto cuando las bolas o guijarros caen casi desde la altura máxima de la carcasa. En un molino de bolas grande la carcasa puede tener 3 m de diámetro y 5 m de longitud. Las bolas son de 2 a 12 cm de diámetro; los guijarros tienen de 5 a 18 cm de tamaño. Un molino tubular, es un molino continuo con una larga carcasa cilíndrica en la que se muele el material durante un tiempo de dos a cinco veces mayor que en un molino de bolas mas corto. Los molinos tubulares son excelentes para la molienda hasta polvos muy finos en una sola etapa, cuando la cantidad de energía consumida no es de gran importancia. Colocando particiones transversales ranuradas se convierte un molino tubular en otro compartimentado. Un compartimiento puede tener bolas grandes; otro, bolas pequeñas: y un tercero, guijarros. Esta separación de los medios de molienda ayuda considerablemente a evitar el trabajo inútil pues las bolas grandes y pesadas rompen solo las partículas grandes, sin la interferencia de las finas. Las bolas pequeñas y ligeras caen solo sobre partículas pequeñas y no sobre trozos grandes que no pueden romper.

La separación de las unidades de molienda en una cámara es una característica del molino cónico de bolas la alimentación entra por el lado izquierdo a través de un cono de 60° , hasta una zona de reducción primaria, en la cual el diámetro de la carcasa es máximo. El producto sale a través de un cono de 30° del lado derecho. Un molino de esta clase contiene bolas de diferentes tamaños que se gastan y se hacen menores a medida que trabaja el molino. Periódicamente se añaden bolas grandes, a medida que gira la carcasa, las bolas grandes se desplazan hacia el punto de diámetro máximo y las bolas pequeñas se dirigen hacia el punto de descarga.



MOLINOS DE ULTRAFINOS.

Muchos polvos comerciales deben tener partículas de tamaño medio entre 1 y 20 micrones, que han de pasar a través de un tamiz patrón de malla 325 con abertura de 44 micrones. Los molinos que reducen los sólidos a partículas de ese tamaño se llaman molinos de ultra finos. La molienda de polvos secos se hace por medio de molinos tales como los molinos de martillos de alta velocidad, provistos de clasificación interna o externa, y por molinos que aprovechan la energía de un fluido. Un ejemplo de este tipo de molinos es, un molino de martillos con clasificación interna, el cual, consiste en un grupo de martillos oscilantes que están colocados entre dos discos giratorios, igual que en los molinos de martillos convencionales. Además de los martillos, el eje del motor lleva dos ventiladores que mueven el aire a través del molino, y se descarga en unos canales que conducen a los colectores del producto. Sobre los discos giratorios, hay unas aspas cortas para separar las partículas de tamaño todavía grande las que poseen dimensiones aceptables. En la cámara de molienda se da a las partículas del sólido una velocidad de rotación elevada. Las partículas gruesas se concentran sobre la pared de la cámara a causa de la fuerza centrífuga que actúa sobre ellas.

MÁQUINAS CORTADORAS

En algunos problemas de reducción de tamaño la alimentación es demasiado tenaz o demasiado elástica para romperse por compresión, impacto o frotamiento. En otros casos la alimentación debe reducirse a partículas de dimensiones fijas. Estos requisitos los cumplen aparatos que cortan, desmenuzan o desgarran la alimentación, dando un producto de las características deseadas. Los molinos dentados, mencionados anteriormente, efectúan gran parte de su trabajo en esta forma. Las verdaderas máquinas cortadoras incluyen las cortadoras y granuladoras giratorias de cuchillas. Estos aparatos se emplean en una variedad de procesos, pero se adaptan especialmente bien los problemas de reducción de tamaño en la manufactura de caucho y plásticos.

Un ejemplo puede ser una cortadora giratoria de cuchillas contiene un rotor que gira a 200 – 900 rpm en una cámara cilíndrica, sobre el rotor se encuentra de 2 a 12 cuchillas flotantes.



Las partículas de alimentación que entran a la cámara por arriba son cortadas varios cientos de veces por minuto salen por el fondo a través de un tamiz de 0.5 a 0.8 de abertura. Unas veces las cuchillas flotantes son paralelas a las cuchillas fijas; otras, dependiendo de las propiedades de alimentación, cortan con un ángulo dado. Las cortadoras y granuladoras giratorias son de diseño análogo; una granuladora de piezas mas o menos irregulares; una cortadora puede dar cubos, cuadrados delgados, o rombos

FUNCIONAMIENTO DE LOS APARATOS.

Para la selección adecuada y la operación económica de la máquina de reducción de tamaño debe prestarse atención a muchos detalles del procedimiento y del equipo auxiliar. No puede esperarse que el rendimiento de una trituradora, molino o cortadora sea satisfactorio a menos que: (1) la alimentación posea el tamaño adecuado y entre con velocidad uniforme; (2) se retire el producto tan pronto como sea posible, después que las partículas hayan alcanzado el tamaño deseado; (3) se mantenga el material irrompible fuera de la máquina; y (4) se elimine el calor generado en el molino en la reducción de productos de punto de fusión bajo o que sean sensibles al calor. Calentadores y refrigerantes, separadores metálicos, bombas y soplantes, y alimentadores de velocidad constante son, por consiguiente complementos importantes de los aparatos de reducción de tamaño.

DESCARGA DE LOS MOLINOS

Para evitar la acumulación en un molino continuo, la velocidad de descarga debe ser igual a la alimentación, por otra parte la velocidad de descarga tiene que ser tal que las partes del molino operen con el máximo rendimiento sobre el material que se reduce en un triturador de mandíbulas, por ejemplo, pueden acumularse las partículas en la abertura de descarga y ser trituradas varias veces antes de caer, cabe destacar que se desperdicia energía si muchas partículas se trituran mas de lo necesario, a veces se opera deliberadamente así, a lo cual se le conoce como trituración obstruida; sin embargo, generalmente se diseñan y se operan las trituradoras de modo que las partículas tratadas salgan fácilmente, arrastrando probablemente algunas partículas demasiado gruesas, que se separan y se recirculan. Esta clase de operación se llama "trituración de descarga libre o trituración libre", la trituración obstruida se utiliza solamente en casos especiales, pues requiere grandes cantidades de energía y puede ocasionar daño al molino.



Con productos triturados bastante gruesos, como los de una trituradora, molino intermedio, o cortadora, la fuerza de gravedad es suficiente para producir la descarga libre. El producto sale generalmente por el fondo del molino, en un molino giratorio escapa por aperturas practicadas en la pared de la cámara en un extremo del cilindro “descarga periférica” o es elevado con palas y arrojado a un cono que lo lleva fuera través de un orificio “descarga central”. Una parrilla o diafragma impide que el medio de molienda salga con el producto.

MOLIENDA DEL PET (ETAPA 1 DEL PROCESO)

La primera etapa del proceso, consiste en identificar las características físicas y químicas de la materia prima con que se cuenta, esto, con el fin de determinar el equipo a utilizar para lograr la molienda de la materia a trabajar.

Características del sólido a moler:

- 1) Plástico derivado de compuesto aromático con un peso molecular promedio de 196 g/mol.
- 2) Es un termoplástico, esto se refiere a que es un plástico blando “al contacto con el calor”, es flexible a altas temperaturas y recupera su forma anterior al enfriarse.

Características del molino empleado.

Molino de cuchillas marca pagani, para la obtención de molienda de materiales termoplásticos, cuero, papel, resina, hule, etc.

Debido a que el PET es un sólido blando, considerado un termoplástico, y aunque existe cierto grado de descomposición del PET en su estructura molecular al llevarlo a su punto de fusión, se propone emplear este molino con las siguientes características:



- 1) Rotor: fabricación de acero al carbón tipo abierto de 200 mm de diámetro y 300 mm de largo, con corte tangencial.
- 2) Cuchillas: 2 fijas, y 3 de rotor con largo de 300 mm.
- 3) Criba: en acero con perforaciones de 7 mm
- 4) Baleros: de bolas protegidos contra infiltraciones de polvo.
- 5) Enfriamiento: por aire en baleros.
- 6) Alimentación: manual mediante tolva con boca de alimentación de 200 mm por 300 mm
- 7) Transmisión: por bandas.
- 8) Equipo eléctrico: motor trifásico de 7.5 H. P. (220 v) arrancador a pleno voltaje con protección contra sobrecargas y micro de seguridad.
- 9) Producción: de 30 a 50 Kg. por hora según tipo y presentación de material.



FIG. 2. 1 ROTOR Y MOTOR DEL MOLINO

El material por moler entra en la tolva colocada en la parte superior del equipo y cae por gravedad en la cámara de molienda, donde se encuentran las cuchillas de acero, las cuales trituran el material, hasta llegar al tamaño adecuado para pasar por los barrenos de la criba, la cual como ya se cito es de 7 mm; al pasar por la criba llega a un bote de recolección de producto. El tamaño de grano resultante, depende únicamente del diámetro de los barrenos de la criba y no de la posición o numero de cuchillas.

CAPITULO 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.



MOLER.

FIG 2.2 TOLVA POR DONDE ENTRAN BOTELLAS A



FIG 2.3 CAMARA DE MOLIENDA

La capacidad de operación del molino definido en Kg./ hr para el PET es de: 45- 50 Kg de PET por hora.

Antes de entrar a la etapa dos del proceso, la cual consiste en el lavado de la molienda de PET obtenida con el molino, se expone de manera general, la teoría de la diferencia de densidades, la cual es el fundamento del lavado de la molienda de PET.



DIFERENCIA DE DENSIDADES.

DISOLUCIONES DE POLIMEROS

ACERCA DE LA LEY DE FICK

El estudio del comportamiento de las disoluciones de los polímeros, es de gran interés, ciertos fenómenos de transporte de tipo hidrodinámico se presentan en estas disoluciones y permiten obtener datos acerca del tamaño y forma de las macromoléculas contenidas en la disolución. Un fenómeno hidrodinámico es la **difusión**, en la que tiene lugar un transporte de materia. Relacionados con la **difusión** encontramos relacionados los fenómenos de **sedimentación** de las partículas macromoleculares por la acción de campos gravitatorios intensos (ultra centrifuga).

En el tratamiento matemático de estos fenómenos de transporte se parte de un modelo hidrodinámico y se comparan los resultados experimentales con los calculados. No siempre es posible fijar cual es el modelo molecular adecuado, aun haciendo uso de los resultados de otros métodos como el del ultramicroscopio, se sabe por ejemplo, que el modelo del ovillo no es un método adecuado para macromoléculas de bajo peso molecular, en este caso, se prefiere el modelo tubular pero no se conoce la demarcación entre ambas zonas. Además, para un modelo dado existen varias posibilidades de tratamiento hidrodinámico, con los casos extremos del amadejamiento macromolecular totalmente permeable. En el primer caso es cuando el disolvente puede fluir libremente a través del polímero se supone que las unidades monómeras no influyen sobre las líneas de corriente del disolvente que rodean a las unidades monómeras vecinas. Los cálculos para este caso han sido efectuados por KUHN y HUGGINS. Si las unidades monómeras influyen mutuamente es que el polímero es parcialmente penetrable por el disolvente; los cálculos para este otro caso se deben a KUHN y BRINKMAN. El caso extremo de las macromoléculas impenetrables han sido tratadas por SADRON Y FLORY. También cabe mencionar que los fenómenos de transporte macromolecular en disolución pueden ser tratados también por la termodinámica de los procesos irreversibles efectuados por HASSE.



DIFUSION DE MACROMOLECULAS.

Si la disolución de un polímero se recubre con disolventes o con una disolución mas diluida del mismo, el soluto difunde hacia las zonas mas diluidas hasta que todo el sistema tenga la misma concentración final. Experimentalmente se encuentra que la cantidad de polímero dm que difunde por el limite de separación es proporcional al tiempo dt , al área de la sección transversal S y al gradiente de concentración dc/dx . Esto constituye la primera ley de Fick:

$$\frac{dm}{dt} = -DS \frac{dc}{dx} \dots \text{ec 2.1}$$

Donde:

dm = Cantidad de polímero

dt = Gradiente de tiempo.

D = Coeficiente de difusión.

S = Área de sección transversal.

dc / dx = Gradiente de concentración.

La constante de proporcionalidad D recibe el nombre de coeficiente de difusión. Se incluye el signo menos para que la D sea una cantidad positiva, pues el soluto difunde hacia las concentraciones decrecientes. A temperatura dada, el coeficiente de difusión es una magnitud característica para cada pareja de soluto y disolvente. Las unidades de D son centímetros cuadrados por segundo, si todos los factores se expresan en unidades cegimales, o sea, la velocidad de difusión dm/dt en gramos por segundo y el gradiente de concentración en gramos por centímetro cúbico por centímetro.

Consideremos la difusión a través de una capa de espesor dx y sección s , en la que la concentración disminuye en dc . La fuerza de difusión que dirige las moléculas hacia las zonas mas diluidas se obtiene de la diferencia de entalpía libre molar parcial, o potencial termodinámico del soluto, en la capa de concentración c respecto a la de concentración $c - dc$. El potencial termodinámico μ esta relacionado con la concentración por:

$$\mu = \mu_0 + RT \ln \gamma \dots \text{ec 2.2}$$

Donde μ_0 es el potencial termodinámico (o entalpía libre molar) del soluto puro y γ , la fracción molar del soluto.

La variación del potencial termodinámico en la difusión es:

$$d\mu = \mu_0 - dc - \mu_0 = \mu_0 + RT \ln (\gamma - d\gamma) - (\mu_0 + RT \ln \gamma) = RT \ln (\gamma - d\gamma) - RT \ln \gamma = RT \ln \frac{\gamma - d\gamma}{\gamma} \dots \text{ec 2.3}$$

en la siguiente figura (figura 2.4) se presenta un esquema de proceso de difusión.

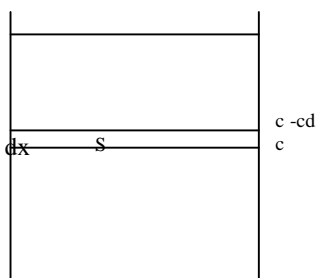


FIG 2.4 ESQUEMA DE DIFUSION

En disoluciones diluidas la fracción molar es proporcional a la concentración, luego:

$$d\mu = RT \ln \frac{c - dc}{c} = RT \ln \left(1 - \frac{dc}{c} \right) \approx - RT \frac{dc}{c} \dots \text{ec 2.4}$$

ya que $\ln(1 - x) \approx -x$ para valores pequeños de x .

la variación del potencial termodinámico corresponde al trabajo realizado al pasar un mol de soluto a través del espacio dx y puede considerarse como el producto de la fuerza de difusión F_d por la distancia dx :

$$d\mu = F_d dx \dots \text{ec 2.5}$$

La fuerza de difusión referida a una macromolécula será pues:

$$F_d = \frac{Fd}{N_A} = \frac{d\mu}{N_A dx} = - \frac{RT}{N_A} \frac{dc}{cdx} \dots \text{ec 2.6}$$

Por efecto de esta fuerza directriz, la velocidad de difusión va aumentando al principio hasta alcanzar un régimen estacionario de velocidad constante, cuando la fuerza de rozamiento de un líquido equilibra esta fuerza de difusión. Para una macromolécula esférica de radio r que se mueve con una velocidad dx/dt en un fluido de viscosidad n , la fuerza de rozamiento f_r ejercida por el fluido viene dada por la formula de Stokes:

$$f_r = 6\pi r n \frac{dx}{dt} \dots \text{ec 2.7 (1)}$$

En el régimen estacionario de velocidad de difusión constante se tiene:

$$f_s = f_r \dots \text{ec 2.8 (2)}$$



$$-\frac{RT}{N_A} \frac{dc}{cdx} = 6\pi r n \frac{dx}{dt} \dots \text{ ec 2.9 (3)}$$

De donde:

$$\frac{cdx}{dt} = -\frac{RT}{6\pi r n N_A} \frac{dc}{dx} \dots \text{ ec 2.10 (4)}$$

Al comparar esta expresión con la ley de Fick teniendo en cuenta que la cantidad de soluto difundida a través de la zona de volumen $S dx$ en el tiempo dt es:

$$c S dx = dm \dots \text{ ec 2.11}$$

Resulta para el coeficiente de difusión:

$$D = \frac{RT}{6\pi r n N_A} \dots \text{ ec 2.12}$$

Mediante esta expresión las medidas de D y n permiten pues, determinar el radio r de la macromolécula, y con ello el peso molecular, en efecto:

$$M = \frac{4}{3} \pi r^3 \delta N_A \dots \text{ ec 2.13}$$

De donde $r = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi \delta N_A}} \dots \text{ ec 2.14}$ sustituyendo 2.12 en 2.14 tenemos que:

$$D = \frac{RT}{6\pi n N_A} \sqrt[3]{\frac{4\pi \delta N_A}{3M}} \dots \text{ ec 2.15}$$
 y con esto tenemos que:

$$D = \text{const. } M^{-1/3} \dots \text{ ec 2.16}$$

Esta relación entre D y M se ha comprobado que es valida para moléculas compactas esferoidales, como pudieran ser las proteínas, pero para moléculas no esferoidales, los resultados pueden ser poco satisfactorios, ya que entonces no se cumple la ley de Stokes. Además, las macromoléculas generalmente se solvatan, y al difundir desplazan esta capa de solvatación, con lo que el radio teórico y el efectivo pueden ser distintos. Sin embargo la interpretación molecular de D dada por la ecuación 2.12, es importante porque determina el producto $6 \pi \eta N_A$ para cada pareja de soluto y disolvente



Para macromoléculas alargadas o fibrilares la relación entre el coeficiente de difusión y el peso molecular es de la forma:

$$D = \text{const. } M^{\delta} \dots \text{ ec 2.17}$$

Con δ generalmente entre $\frac{1}{2}$ y 1. La discrepancia entre la relación empírica anterior descrita y la ecuación 2.14 puede ser debida a las siguientes causas.

- a) la macromolécula no es esférica, sino elipsoidal o tubular, en cuyo caso la fuerza de rozamiento, que es proporcional a la velocidad, no es de la forma de Stokes.

$$f_r = \alpha\omega; \quad \alpha \neq 6\pi r\eta \dots \text{ ec 2.18}$$

- b) la macromolécula apelmazada en si misma no es impenetrable al disolvente; este puede fluir total o parcialmente a través de ella.
- c) La densidad efectiva ρ de la macromolécula en disolución es función del peso molecular.

Para determinar el valor de coeficiente de difusión en las disoluciones de altos polímeros o polímeros de alto peso molecular se prefiere medir, en lugar de dm / dt , la marcha de la concentración en función del tiempo y de la distancia a la sección de la separación inicial; para este fin es mas apropiada la segunda ley de difusión de Fick.

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \dots \text{ ec 2.19}$$

De esta ecuación diferencial resulta para el gradiente de concentración en función de tiempo t y de la distancia x :

$$\frac{dc}{dx} = -\frac{c' - c''}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt} \dots \text{ ec 2.20}$$

Siendo c' y c'' las concentraciones iniciales ($t=0$) a ambos lados de la zona de separación. La marcha de la concentración se sigue midiendo el índice de refracción, que es proporcional a ella. Así, se obtiene; mediante la ecuación 2.20, una serie de valores Dt_i que representados frente a t_i permiten calcular D de la pendiente de la recta resultante.



EQUILIBRIO DE SEDIMENTACION.

El equilibrio de sedimentación es un equilibrio dinámico entre sedimentación y difusión, análogo a la distribución barométrica de alturas. La magnitud termodinámica adecuada para el estudio de equilibrios es la entalpía libre (energía libre de Gibbs, potencial termodinámico). En el equilibrio, la entalpía libre del soluto debe ser igual en cualquier lugar de la partícula, es decir, que la suma de las variaciones de la entalpía libre producidas por los efectos de centrifugación y difusión entre dos posiciones cualesquiera, r_1 y r_2 respecto al eje de giro debe ser nula.

La fuerza centrífuga f_c que actúa sobre una macromolécula de masa m a la distancia r del eje de rotación viene dada por:

$$f_c = mr\omega^2 \dots \text{ ec 2.21}$$

Donde ω es la velocidad angular en radianes por segundo, la disminución de la entalpía libre de la molécula al pasar de la posición r_1 a la r_2 por efecto de la centrifugación se obtiene calculando el trabajo necesario para moverla de r_1 a r_2 :

$$\Delta g_c = -\int_{r_1}^{r_2} f_c dr = -\int_{r_1}^{r_2} mr\omega^2 dr = -m\omega^2 \int_{r_1}^{r_2} r dr = -\frac{1}{2}m\omega^2(r_2^2 - r_1^2) \dots \text{ ec 2.22}$$

Ahora bien, como la partícula está suspendida en un líquido de densidad ρ , hay que descontar el empuje. Si el volumen de 1g de soluto es v (volumen específico), el peso de un volumen igual de disolvente es $v\rho$, y el término de corrección por unidad de masa será $1 - v\rho$. La variación de la entalpía libre ya corregida será:

$$\Delta g_c = -\frac{1}{2}m(1 - v\rho)\omega^2(r_2^2 - r_1^2) \dots \text{ ec 2.23}$$

El aumento de la energía libre por efecto de la difusión al pasar la molécula a zonas más concentradas es:

$$\Delta g_d = \frac{RT}{N_A} \ln \frac{c_2}{c_1} \dots \text{ ec 2.24}$$



Al alcanzarse el equilibrio, la disminución de entalpía libre por la sedimentación se compensa con el aumento que experimenta por la difusión.

$$\Delta g_c + \Delta g_d = 0 \dots \text{ ec 2.25}$$

$$\frac{1}{2} m(1 - v\rho)\omega^2 (r_2^2 - r_1^2) = \frac{RT}{N_A} \ln \frac{c_2}{c_1} \dots \text{ ec 2.26}$$

De donde:

$$M = mN_A = \frac{2RT \ln(c_2 / c_1)}{(1 - v\rho)\omega^2 (r_2^2 - r_1^2)} \dots \text{ ec 2.27}$$

Midiendo pues la concentración en disposiciones, cuando se ha alcanzado el equilibrio, se puede calcular el peso molecular. Además, determinando el peso molecular en capas de espesor Δ_r para diferentes valores de r , se obtienen polímeros monodispersos (unimoleculares) siempre el mismo valor de M ; en cambio, en sustancias polimoleculares M crece con r ; así se obtienen datos sobre la curva de distribución de pesos moleculares.

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION.

La fuerza centrífuga que tiende a desplazar las macromoléculas hacia el fondo de la célula vale, actuando sobre un mol de soluto: $F_c = M(1 - v\rho)\omega^2 r \dots \text{ ec 2.28}$

La fuerza de rozamiento del líquido es proporcional a la velocidad de desplazamiento de las partículas, independientemente de su forma. Con la forma de la partícula se modifica solo el valor de factor de proporcionalidad o factor de rozamiento. Si designamos por α el factor de rozamiento molar, se tiene:

$$F_r = \alpha \frac{dr}{dt} \dots \text{ ec 2.29}$$

En el movimiento estacionario de velocidad constante estas dos fuerzas se igualan:



$$M(1 - \nu\rho)\omega^2 r = \alpha \frac{dr}{dt} \dots \text{ ec 2.30}$$

La magnitud característica de las macromoléculas en disolución es su "coeficiente de sedimentación" s , definido por SVEDBERG como la velocidad de emigración por unidad de aceleración centrífuga:

$$S = \frac{dr/dt}{\omega^2 r} \dots \text{ ec 2.31}$$

El coeficiente de sedimentación tiene las dimensiones de un tiempo; su unidad 1 svedberg ($=10^{-13}$ seg), pues el valor de s para muchas moléculas es del orden 10^{-13} seg.

De las ecuaciones 2.30 y 2.31 resulta:

$$M = \frac{\alpha s}{1 - \nu\rho} \dots \text{ ec 2.32}$$

El factor de rozamiento α puede obtenerse del coeficiente de difusión mediante la relación general de Einstein:

$$D = \frac{RT}{\alpha} \dots \text{ ec 2.33}$$

Se deduce esta ecuación de manera análoga a la ecuación válida para macromoléculas esféricas donde: $\alpha = 6\pi r\eta N_A \dots$ ec 2.34

Sustituyendo el valor de α dado por la ecuación 2.33 en la ecuación 2.32, resulta finalmente la ecuación de Svedberg:

$$M = \frac{RTs}{D(1 - \nu\rho)} \dots \text{ ec 2.35}$$

Mediante esta ecuación se puede calcular el peso molecular de las macromoléculas por medida de los coeficientes de difusión y sedimentación, y las unidades de soluto y disolvente. La fórmula de Svedberg es una ley límite para dilución infinita. En la determinación de pesos moleculares de polímeros hay que extra polar los coeficientes s y D a $c=0$, ya que sus valores varían con la concentración de polímero, generalmente según las expresiones siguientes:



$$D = D_0(1 + kc) \dots \text{ ec 2.36}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{s_0} + k'c + k''c^2 \dots \text{ ec 2.37}$$

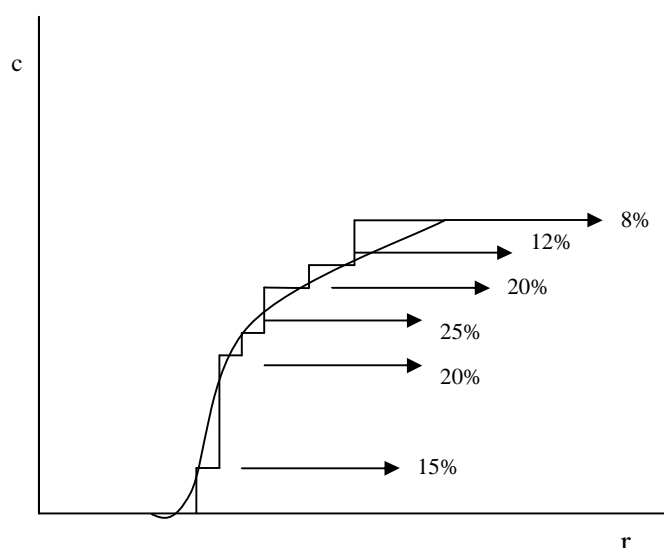


FIG. 2.5 DIAGRAMA DE SEDIMENTACION DE UN POLIMERO DE SEIS FRACCIONES

De las expresiones anteriores 2.36 y 2.37 D_0 y s_0 son los correspondientes valores cuando $c \rightarrow 0$; esto es, c tiende a cero una vez calculado el peso molecular de la ecuación 2.35 puede determinarse el factor de rozamiento α mediante la ecuación 2.32 y compararse con el de una esfera de igual volumen $\alpha' = 6\pi r \eta N_A$, si el cociente de rozamiento α/α' es mayor que 1, las partículas no son esféricas. Para un valor dado del cociente de rozamiento son posibles diversas formas (elipsoidal, tubular, aplanada, etc) entre las cuales se puede discernir con ayuda de otros métodos o por modelos teóricos. "El diagrama de sedimentación" obtenido con las velocidades de sedimentación permite determinar la polidispersidad del soluto, en la figura expuesta arriba se representa la variación de concentración con la distancia al eje de giro en un polímero de seis fracciones; se obtiene una curva cuya pendiente en los diversos puntos, dc/dr , es una medida en la distribución diferencial de masas.



LAVADO DEL PET CON DISOLUCION ACUOSA DE NaOH A DISTINTAS CONCENTRACIONES BASADO EN DIFERENCIA DE DENSIDADES (ETAPA 2 DEL PROCESO)

Una vez obtenida la molienda del PET, en la cual, se encuentran en mezcla holuejas de PET con un espesor de 5 mm, etiqueta de papel, etiqueta de polietileno y tapas fabricadas de polietileno. Se realizaron lavados con disolución cáustica de NaOH, se decidió emplear este reactivo debido a su gran capacidad como agente limpiador, además de que es el principal elemento en detergentes. A continuación se describen algunas de sus propiedades.

Propiedades físicas, químicas y toxicológicas de NaOH.

- Hidróxido de sodio (NaOH)

Propiedades físicas: sólido blanco, delicuecente en forma de barras, terrones o copos, también en soluciones acuosas al 50 % y 75%.

Propiedades químicas: soluble en agua, alcohol y glicerol, absorbe agua y CO₂ al aire. Punto de ebullición: 1320°C, punto de fusión: 318°C

Toxicología: corroe los tejidos en presencia de humedad, fuerte irritante para los ojos, piel y mucosas.

Se realizaron pruebas a diferentes concentraciones de este reactivo, con la finalidad de determinar la cantidad a emplear para el lavado de las hojuelas de PET

Se colocaron en 4 frascos de 600 ml la cantidad de 500 ml de agua, posteriormente se agrego NaOH al 98% p/p. Los lavados se hicieron en porcentaje peso-peso (% p/p) al 3, 5, 7 y 10 de reactivo para cada disolución cáustica.

1) muestra al 3% p/p

Cantidad de disolución = 500 g.

Cantidad de NaOH = 15 g.

2) muestra al 5% p/p

Cantidad de disolución = 500 g.

Cantidad de NaOH = 25 g.



3) muestra al 7% p/p

Cantidad de disolución = 500 g.

Cantidad de NaOH = 35 g.

4) muestra al 10% p/p

Cantidad de disolución = 500 g.

Cantidad de NaOH = 50 g.

Con fundamento en la diferencia de densidades, se agregaron 20 g de la molienda obtenida de PET en cada disolución cáustica para realizar pruebas cualitativas, al agregarse se observó en las disoluciones que la etiqueta de polietileno, de papel así como la tapa molida, flotaron, depositándose las hojuelas de PET en el fondo de cada uno de los frascos; debido a la diferente densidad entre cada uno de estos componentes. Las densidades de cada elemento en la molienda se citan a continuación:

$\rho_{\text{PET}} = 1.33 \text{ g/cm}^3$ (estado amorfo) hasta 1.4 g/cm^3 en estado cristalino.

$\rho_{\text{Papel}} = \text{de } 0.5 \text{ a } 0.8 \text{ g/cm}^3$

$\rho_{\text{Polietileno}} = \text{PEBD } 0,915 \text{ hasta } 0,935 \text{ g/cm}^3$ PEAD $0,94 \text{ hasta } 0,97 \text{ g/cm}^3$

3) se realizó una agitación continua manual con un agitador para provocar vortice y con esto remover el polvo contenido en cada muestra e inducir que la etiqueta restante y tapa molida se separaran por flotación. De una toma de agua se agregaron 200 ml para provocar derramamiento en los frascos, y eliminar mediante esta acción etiqueta y tapa molida suspendida.

Posteriormente se montó un equipo a nivel laboratorio; para realizar el lavado del PET con una cantidad mayor de este plástico (1 Kg.) para cada corrida. El equipo consta de las siguientes partes:



- 1) Recipiente cilíndrico de cristal pirex con capacidad de 12 litros.
Diámetro = 9 pulgadas; Altura= 18 pulgadas



FIG. 2.6

- 2) Recipiente cilíndrico de cristal pirex con capacidad de 28 litros.
Diámetro = 16 pulgadas; Altura = 12 pulgadas.



FIG. 2.7

- 3) Bomba centrífuga con potencia de $\frac{1}{4}$ de HP



FIG. 2.8



- 4) 3 m de manguera para agua con espesor de pared de $\frac{1}{4}$ pulgada y diámetro interno de $\frac{1}{2}$ pulgada



FIG. 2.9

- 5) Filtro de arena con. Diámetro= 2 pg. ; Altura = 8.5 pg.
- 6) Aspersor de cobre con 3 salidas de agua.

El equipo quedo montado finalmente como se observa en la siguiente imagen.



FIG. 2.10

Con el equipo se realizaron primeramente 4 lavados con disoluciones de NaOH al 3%, 5%, 7% y 10% y las cantidades empleadas fueron:

CAPITULO 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.



1) Disolución al 3% p/p

Cantidad de disolución: 12,000 g.

Cantidad de NaOH: 360 g.

2) Disolución al 5% p/p

Cantidad de disolución: 12,000 g.

Cantidad de NaOH: 600 g.

3) Disolución al 7% p/p

Cantidad de disolución: 12,000 g.

Cantidad de NaOH: 840 g.

4) Disolución al 10 % p/p

Cantidad de disolución: 12,000 g.

Cantidad de NaOH: 1200 g.

En la tabla mostrada a continuación se exponen los resultados obtenidos.

Disolución	Cantidad de molienda de PET	Cantidad obtenida de PET limpio+ PET con etiqueta adherida	Cantidad obtenida de etiqueta + tapa	% de PET	% de etiqueta + tapa	Apariencia de la hojuela de PET lavada
3 %	1000 g (1kg)	865 g	135 g	87%	13%	Transparente
5%	1000 g (1kg)	860 g	140 g	86%	14%	Transparente
7%	1000 g (1kg)	864 g	136 g	86%	14%	Transparente
10%	1000 g (1kg)	866 g	134 g	87%	13%	Transparente

En base a la tabla de resultados con una cantidad mayor de molienda se determino emplear la disolución al 3% para el lavado de la hojuela de PET.



Al realizar el lavado con el equipo, se observa la sedimentación de la fracción pesada de la molienda (PET) y la flotación de la fracción ligera de la molienda (tapa y etiqueta de polietileno, etiqueta de papel).



FIG 2.11



FIG. 2.12



FIG. 2.13

se realizaron 3 lavados más, con la disolución de NaOH al 3% tomando como base de cálculo 1 Kg. de PET,
Condiciones empleadas en las pruebas a nivel laboratorio.

Para tres corridas.

Cantidad de agua = 12,000 ml.

Cantidad de NaOH = 360 g. (para disolución de NaOH al 3%)

Cantidad agregada de PET 1000 g. (1Kg)

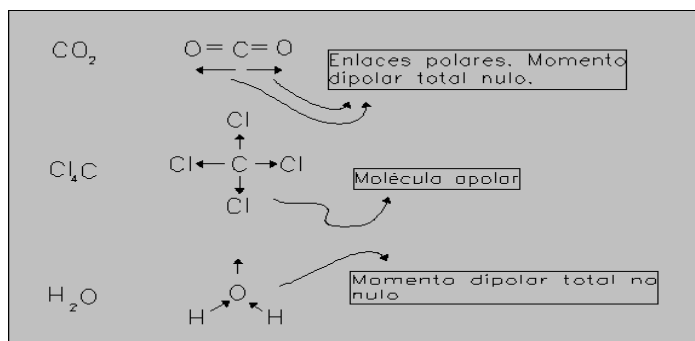


POLARIDADES DE LOS DISOLVENTES ORGÁNICOS.

una vez que con el lavado se concluyó que no elimina el pegamento ni la etiqueta adherida a la hojuela de PET, se buscó realizar un segundo lavado para poder disolver el pegamento contenido en algunas hojuelas y con esto provocar la eliminación de la etiqueta adherida en las mismas, hasta antes de conocer los elementos básicos que componen el pegamento, se propuso encontrar un disolvente de fácil manejo para eliminar el pegamento en el PET, considerando la polaridad de los disolventes.

La polaridad de los disolventes, es clave en la separación de componentes orgánicos, un ejemplo claro es el empleo de los disolventes en cromatografía, en donde a el disolvente se le denomina eluyente, en este caso, un eluyente polar, arrastrará con mayor facilidad a los componentes orgánicos, dicho de otra manera, estos “corren más” con los disolventes polares. Por el contrario, mezclas de disolventes con poca polaridad, o eluyentes no polares, hacen una separación de los componentes a identificar con mayor lentitud. es un concepto que representa la uniformidad de distribución de las cargas eléctricas en una molécula. También es muy útil y empleado el principio de polaridad en la extracción con disolventes orgánicos, en el líquido, donde se emplea el principio de semejante, disuelve semejante. La polaridad de un enlace de un compuesto se mide con el **momento dipolar** (producto de la carga localizada por la distancia entre los núcleos de los átomos que forman el enlace; una unidad para medir los momentos dipolares es el Debay, los momentos dipolares oscilan de 0 a 11 Debyes)

Esquema que ilustra polaridad en los enlaces de los átomos de las moléculas.





Si una molécula tiene varios enlaces con carácter polar, el momento dipolar será la **suma vectorial** de los momentos dipolares de cada enlace. Esto puede suponer que moléculas que posean enlaces polares tengan momento dipolar TOTAL cero, debido a su geometría simétrica

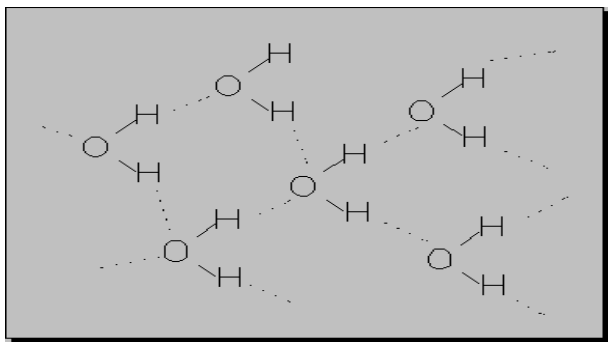
Como ejemplo tenemos: Agua, Etanol, Metanol, Acetona.

Las fuerzas que tienden a unir las moléculas de estos compuestos se denominan **FUERZAS INTERMOLECULARES**.

FUERZAS DIPOLO-DIPOLO. (Para moléculas polares)

Un tipo particular de estas fuerzas (a veces denominadas "enlaces") lo constituye el enlace por **punto de hidrógeno**, se da cuando existen enlaces entre átomos muy electronegativos y de pequeño volumen - F, O y N - con el H. Esto es, los puentes de hidrógeno se darán entre moléculas que contengan enlaces F-H, O-H o N-H.

Esquema que ilustra los puentes de hidrogeno en moléculas polares.



FUERZAS DE VAN DER WAALS (para moléculas apolares) (dipolos instantáneos)

En las moléculas apolares (que originan habitualmente gases) si se las aproxima lo suficiente, se puede generar un desplazamiento de la carga que provoque la formación de dipolos instantáneos, los cuales posibilitan la atracción y la unión entre las moléculas. Estas fuerzas aumentan con el volumen molecular, ya que si los volúmenes son grandes las moléculas son más fácilmente deformables (polarizables).

CAPITULO 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.



Tabla que menciona algunos compuestos apolares.

Molécula	Punto de ebullición	Estado físico (1 atm)	*En términos relativos, si se da el valor 1 a la fuerza de unión de Van der Waals:
F ₂	-188°C	gas	Van. der Waals.....1 Puentes de Hidrógeno..10 Enlace covalente....100
Cl ₂	-34°C	gas	
Br ₂	58,8°C	líquido	
I ₂	184,5°C	sólido	

Dado lo anterior, se tiene una tabla de polaridades, la cual es llamada en la literatura **serie elutrópica**, con valores de polaridades de los disolventes orgánicos en orden creciente de arriba hacia abajo



SERIE ELUTRÓPICA DE ALGUNOS DISOLVENTES ORGANICOS

Constantes dieléctricas a 25 °C

SERIE ELUTRÓPICA.	
DISOLVENTE	CONSTANTE DIELECTRICA ϵ
HEXANO	1.89
ETER DE PETROLEO	2.13
TETRACLORURO DE CARBONO	2.23
BENCENO	2.273
p-XILENO	2.27
CLOROFORMO	4.80
ETER	4.34
ACETATO DE ETILO	6.02
PIRIDINA	12.3
ACETONA	20.1
n-PROPANOL	20.12
ETANOL	24.3
METANOL	32.63
AGUA	78.54

POLARIDAD
CRECIENTE





SELECCIÓN DEL DISOLVENTE ADECUADO

El tercer paso en la metodología, Para separar la etiqueta pegada, disolviendo el adhesivo contenido en estas hojuelas lavadas y separadas de la molienda, se realizaron pruebas con disolventes de diferentes polaridades, basándose en la tabla anteriormente expuesta, los disolventes utilizados, se ordenaron de menor a mayor polaridad y estos disolventes fueron:

- Hexano (C_6H_{14})
- P-Xileno ($C_6H_4(CH_3)_2$)
- Etanol (C_2H_5OH)
- Metanol (CH_3OH)
- Acetona ($(CH_3)_2CO$)

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TOXICOLÓGICAS DE DISOLVENTES SELECCIONADOS

Propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los disolventes empleados.

- Hexano (C_6H_{14})

Propiedades físicas: líquido incoloro, volátil y olor débil.

Propiedades químicas: punto de ebullición $68.742^{\circ}C$, punto de inflamación $-23^{\circ}C$, Soluble en alcohol, acetona y éter. Insoluble en agua.

Toxicología: inflamable, moderadamente toxico por ingestión o inhalación.

- P-Xileno ($C_6H_4(CH_3)_2$)

Propiedades físicas: líquido claro, olor moderado.

Propiedades químicas: soluble en alcohol y éter, insoluble en agua
Punto de inflamación $23^{\circ}C$, punto de ebullición $138^{\circ}C$

Toxicología: inflamable, moderadamente toxico por ingestión o inhalación
tolerancia al aire 100 ppm.

- Etanol (C_2H_5OH)

Propiedades físicas: líquido incoloro limpio, volátil, olor etéreo a vino, sabor picante.

Propiedades químicas: punto de ebullición $78.3^{\circ}C$, punto de congelación $-117.3^{\circ}C$, punto de inflamación $14^{\circ}C$, miscible en agua, metanol, éter, cloroformo, acetona.

Toxicología: inflamable, riesgo de incendio, efecto narcótico por ingestión.

- Metanol (CH_3OH)

Propiedades físicas: líquido muy polar móvil, incoloro.

Propiedades químicas: miscible en agua, alcohol y éter. Punto de ebullición $64.5^{\circ}C$, punto de inflamación $16^{\circ}C$

Toxicología: inflamable, peligro de incendio, toxico por ingestión, causa ceguera.

CAPITULO 2. DISEÑO EXPERIMENTAL.



- Acetona ((CH₃)₂CO)

Propiedades físicas: líquido incoloro, volátil, olor dulce.

Propiedades químicas: miscible en agua, alcohol, éter, cloroformo. Punto de ebullición 56.2°C

Toxicología: inflamable, peligro de incendio, moderadamente toxico, limite en el aire 1000 ppm.



RESULTADOS DE PRUEBAS PREELIMINARES

La siguiente tabla muestra los resultados preeliminares de las pruebas aplicados a disolventes de polaridades diferentes.

DISOLVENTE EMPLEADO	RESULTADOS
HEXANO	No quita el pegamento
METANOL	No quita el pegamento
ETANOL	No quita el pegamento
p-XILENO	Si quita el pegamento.
ACETONA	Si quita el pegamento.

A partir de estos resultados, se decidió realizar pruebas con p-XILENO y ACETONA, disolventes de polaridad intermedia, y en los cuales se disuelve el pegamento adherido a las hojuelas.

Se cuenta en el laboratorio de desarrollo de procesos con mezclas de disolventes almacenadas en tambos; estos contienen hexano, etanol, y acetona. En el anexo dos se muestran los cromatogramas realizados a estas mezclas de disolventes tomando como referencia disolventes puros; en estas mezclas el disolvente activo es la acetona, se realizo una prueba con estas mezclas de disolventes y se obtuvieron los siguientes resultados:

MEZCLA DE DISOLVENTES	RESULTADOS
(HEXANO, METANOL, ACETONA)	
(HEXANO, METANOL, ACETONA)	Si quita el pegamento

Las siguientes imágenes muestran la disolución del pegamento adherido a las hojuelas liberando la etiqueta pegada empleando la mezcla de los disolventes.



Fig. A



Fig. B



Fig. C

Fig. A) Acetona, disolvente el cual actúa como extractor para disolver el pegamento adherido al plástico.

Fig. B) p-Xileno, el cual actúa como extractor para disolver el pegamento adherido al plástico.

Fig. C) Mezcla de disolventes, donde la Acetona actúa como extractor para disolver el pegamento adherido al plástico.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL EQUIPO A NIVEL PLANTA PILOTO.



INGENIERIA BASICA.

Es la etapa del proyecto donde se elaboraron los documentos básicos para el diseño del lavador para las hojuelas de PET.

- 1) Bases de usuario
- 2) Bases de diseño
- 3) Criterios de diseño.
- 4) diagrama de bloques del proceso.
- 5) Diagrama de flujo de proceso (DFP)
- 6) Balance de masa y energía.
- 7) Hojas de datos de equipos requeridos en el proceso.
- 8) Diagrama de tuberías e instrumentación.

BASES DE USUARIO

Se requiere de un lavador que sea capaz de obtener 450 kg de hojuela de PET reciclado por semana, se sabe que el molino con que cuenta la facultad; el cual es de cuchillas de acero y en el se obtienen 450 kg en una semana de hojuela de PET reciclado. El lavador deberá eliminar de las hojuelas el polvo, la etiqueta y el pegamento adherido a las etiquetas y a las hojuelas de PET, dejando a la hojuela limpia para que pueda comercializarse y/o, pueda ser reutilizada en nuevos procesos.

Debido a que el reciclamiento es de suma importancia, y es un tema de actualidad, dicho proceso deberá contemplar una ampliación a futuro, puesto que la facultad se encuentra en actividad dinámica constante en cuanto a PET reciclado. El proceso deberá ser rentable, además de que su construcción debe ser factible. Se deberán emplear disolventes que no sean muy tóxicos, además de observar las normas de disolventes para que el proceso sea seguro y bajo ese régimen se pueda operar el (los) equipos que formen parte del proceso para obtener limpia la hojuela de PET reciclado.



BASES DE DISEÑO

El proceso para obtener la hojuela de PET limpia, debe contener en primera instancia, un tanque colocado de manera horizontal con la capacidad de contener 3000 lts de agua, que pueda contener y lavar 450 kg de PET como capacidad normal; el material para su construcción, será de acero al carbón y la pintura anticorrosiva deberá tener un espesor de 2mm. El tanque tendrá un ángulo al ser instalado de 45°, para facilitar la recolección de la etiqueta. Contará con tubería de PVC hidráulico con un diámetro de 2 in, así como 4 salidas de agua con reducción en la tubería a 0.5 in. Estas salidas deberán estar ubicadas por arriba del tanque y tendrán sentido de flujo en forma de "T" invertida para generar vortice y provocar una fuerza hidráulica con la finalidad de lavar las hojuelas e inducir a los elementos mas ligeros de la molienda (etiqueta de papel y polietileno, tapa) a flotar para que puedan ser separados. Se deberá contar con una bomba centrífuga con potencia de 3 Hp, que pueda proporcionar un caudal de 9 l/min, para generar el flujo suficiente para el vortice y hacer rápido el retorno del agua hacia el tanque por medio de las 4 salidas. El tanque deberá tener además, un filtro rápido a la succión de la bomba para que el agua que retorne sea clara y se efectue el lavado. El proceso deberá contar con un tambo giratorio que sea capaz de girar 30 veces por minuto. El tanque contará también con un sistema de purga, dicho sistema deberá contener:

- 1) válvula de escape, la cual será una válvula de paso operada de forma automática y/o manual.
- 2) Tubería conectada a la válvula de escape la cual será orientada hacia un refrigerante para la condensación de los vapores de los disolventes.



CRITERIOS DE DISEÑO.

Los criterios de diseño para el proceso se clasificaron en las diferentes partes que lo conforman. A continuación se enlistan en cada parte.

Tanque separador.

- 1) fluido a manejar. agua + NaOH al 3% p/p.
- 2) cantidad de agua + NaOH necesaria para lavar 40 kgs de sólido.
- 3) tipo de material a lavar. Molienda de PET polímero termoplástico en forma de hojuela con densidad de 1.4 g/cm^3 + etiqueta de papel con densidad de 0.5 a 0.8 g/cm^3 + tapa de polietileno con densidad de $0,915$ hasta $0,935 \text{ g/cm}^3$

Tanque giratorio.

- 1) tipo de disolventes a utilizar. Mezcla de acetona, etanol, hexano y metanol.
- 2) Presión de vapor de los disolventes que se utilizaran. Las cuales son:
Acetona: $2.3205 \times 10^{-5} \text{ mmHg}$
Etanol : $5.705 \times 10^{-7} \text{ mmHg}$
Hexano: $2.1353 \times 10^{-5} \text{ mmHg}$
Metanol: $3.1304 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$

Los datos de presiones de vapor de los disolventes fueron calculados a partir de la ecuación de Antoine la cual es:

$$\log_{10} P = A - B / C + t$$

$$P = 10^{A - B / C + t}$$

Donde P esta dada en mmHg y t esta dada en grados centígrados.

- 3) Que no ocurran reacciones físicas y químicas entre las paredes del tanque y los disolventes utilizados.
- 4) Tiempo de agitación necesario para poder disolver el pegamento de las hojuelas de PET.
- 5) Cantidad en l necesaria de disolvente para lavar n cantidad de sólido.

Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo del proceso es un documento base en la formación del proyecto en el encontramos información acerca del proceso de forma clara y objetiva. Se presenta en forma de bloques y en DFP,

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO (DBP)

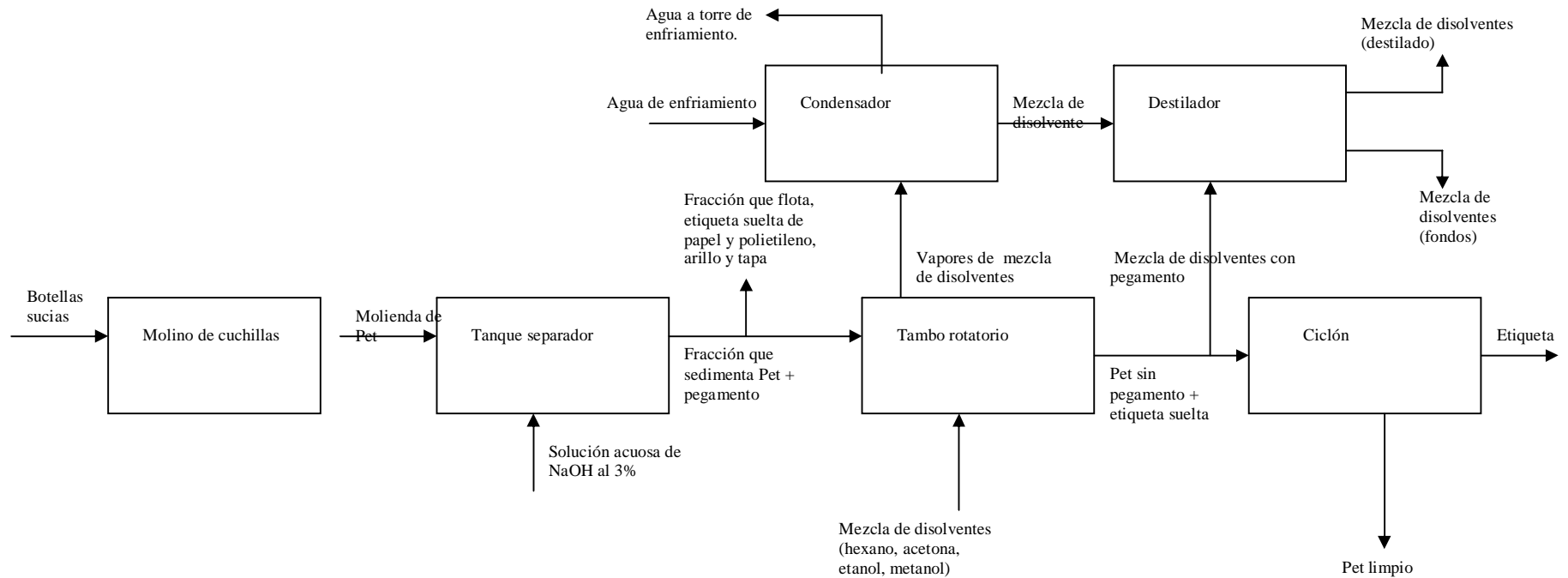
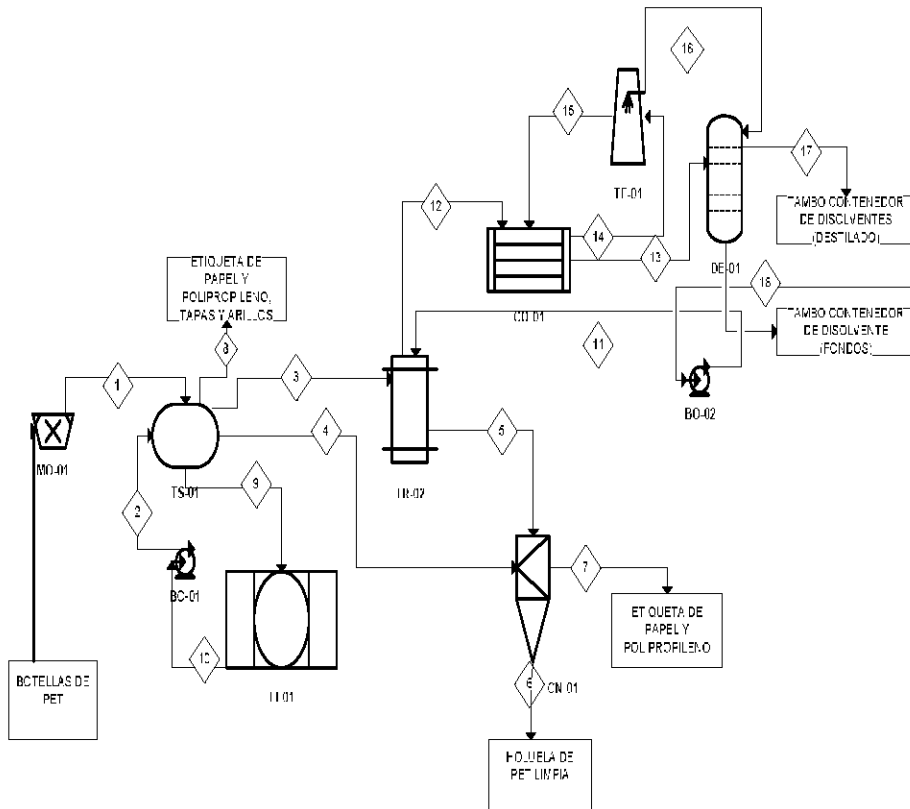


DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (DFP) PROPUESTO

LISTA DE EQUIPO

CLAVE	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
MO-01	MOJINO DE OLCHILLAS	D=200mm L=300mm
TS-01	TANQUE SEPARADOR	D=170mm L=560mm
FK-01	FILTRO PARA AGUA	D=100mm L=160mm
TR-02	TAMBOR ROTATORIO	D=260mm L=550mm
BC-01	BOMBA CENTRIFUGA	3 Hp
BC-02	BOMBA CENTRIFUGA	0.25 Hp
CN-01	CICLOTA	
CO-01	CONDENSADOR DE VAPOR DE DISOLVENTE	D=304MM L=700MM SERPENTIN
DE-01	DESTILADOR	COLUMNA 07/PLATOS
TE-01	TORRE DE ENFRIAMIENTO	EMPACADA



		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
		FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA	
		DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	
		DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO, MOLINERÍA DE PET	
		DIBUJO NO. 01	
		REV 01	

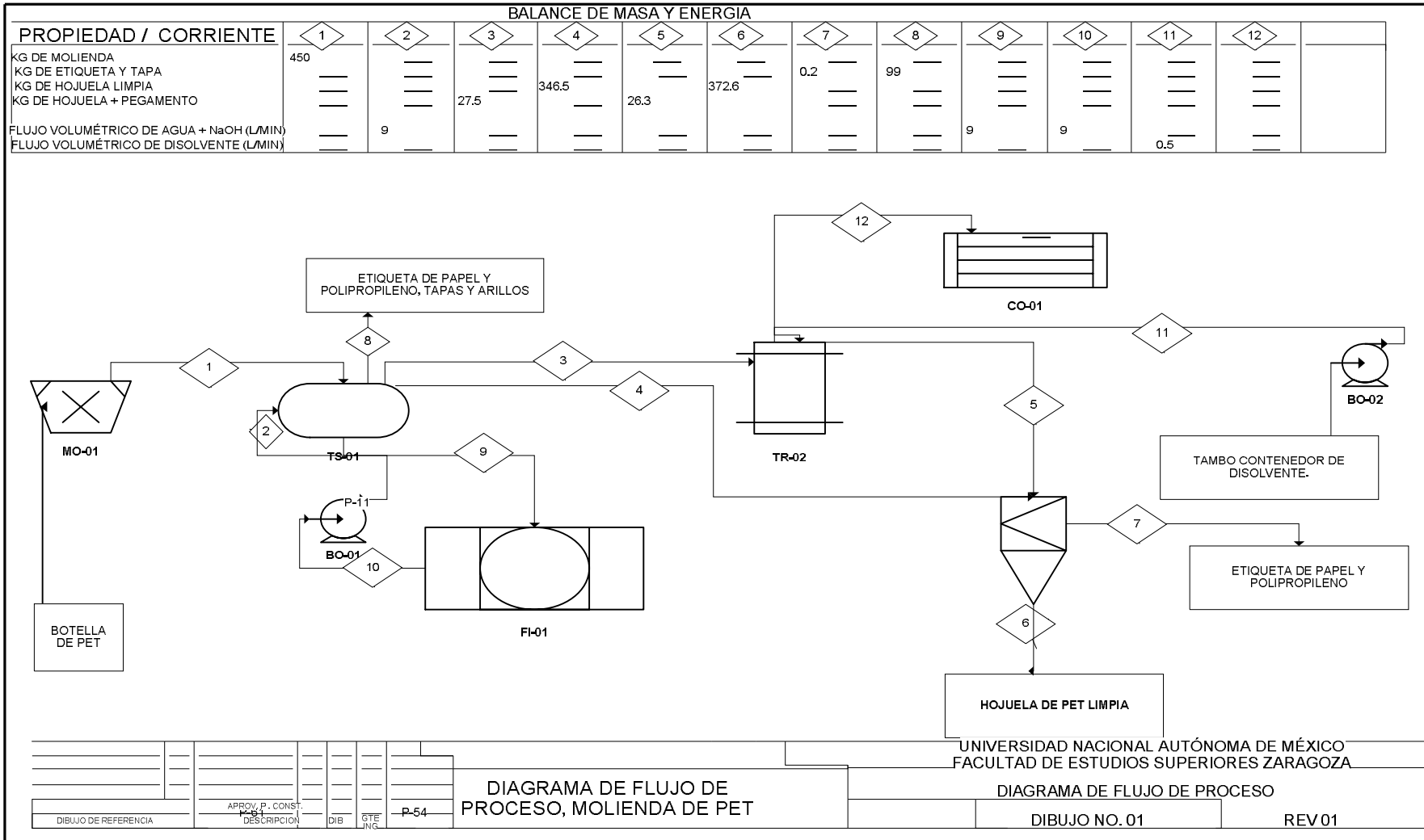


BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Dado que no se cuenta con una base de cálculo que nos pueda definir el balance de masa, para el dimensionamiento del equipo, se tomaron en cuenta los datos obtenidos durante las pruebas realizadas en planta piloto. En tanto, para el balance de energía se tomo en cuenta la potencia necesaria para las revoluciones del tambo giratorio, de lo que se ha dicho, son 30 giros por minuto.

Para el flujo requerido en el lavado de disolución acuosa de NaOH se tomara en cuenta el caudal medido de la bomba, ya que es un proceso batch, y es una recirculación. La tubería que se propone es tubería lisa de PVC.

El balance de masa y energía se hará únicamente en el tanque separador y en el tambo giratorio, ya que estos son los elementos a los que se enfoca esta tesis





DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso a nivel planta piloto, consiste en 4 etapas fundamentales, para cumplir el objetivo que es obtener la hojuela de PET limpia, libre de polvo, etiqueta y adhesivo. Se describe la secuencia del proceso, continuación:

A las botellas de plástico les son retirados los desechos que puedan contener para obtenerlas secas y después se les colocaran las tapas, Las botellas secas y con tapa colocada son tomadas y en forma manual se colocan en la tolva del molino, estas botellas, una vez introducidas en la tolva, las botellas caerán por gravedad hacia las cuchillas del molino y por la criba la cual tiene perforaciones de 7mm Las hojuelas de la molienda resultante son amorfas, con un espesor medido de 5mm, se obtienen también, etiqueta de papel y de polietileno (o etiqueta metálica), así como tapa de la botella y arillo de la misma molidos (hechos también de polietileno). En el cual se obtienen 50 Kg/ hr, y durante 9 hr de molienda a la semana se tendran 450 Kg.



FIG. 3.1. MOLIENDA DE BOTELLAS DE PET OBTENIDAS.

Obtenida la molienda, esta será colocada en un tanque abierto separador, el cual estará al 100% en capacidad de una disolución de NaOH al 3%, el tanque, esta construido de acero al carbón y con una capa de pintura anticorrosiva en la pared interna al 20%. La descarga de la molienda hacia el tanque se ha de hacer de manera semicontinua, y por diferencia de densidades, las tapas y arillos molidos, así como la etiqueta de papel y polietileno flotan, el tanque esta inclinado con un ángulo de 45° para facilitar la recolección de la fase ligera de la molienda y que se busca separar de las hojuelas de PET.



FIG. 3.2 TANQUE SEPARADOR Y LAVADOR DE LA MOLIENDA DE PET.

Se activará la bomba que esta conectada al tanque separador, para hacer recircular el agua contenida en el tanque, el agua retorna por las 4 boquillas de descarga de $\frac{1}{2}$ pulg. de diámetro, generando un vortice que facilita la flotación de los componentes mas ligeros así como una mayor área de contacto entre el soluto y la disolución lavadora. El agua recirculara del tanque separador hacia un filtro rápido filtro y de este, será succionada por la bomba para poder retornar al tanque, el tiempo de recirculación que se propone es de 4 horas para obtener la molienda lavada.

Una vez realizado el lavado en el tanque separador y recolectada la fase ligera de la molienda (etiqueta de papel y polietileno, tapa) se debe descargar el agua del tanque, la cual es enviada a la azotea de la planta piloto para evaporarla y obtener NaOH libre del agua. La molienda lavada ha de llevarse a un secado que puede ser a la intemperie o a partir de un secador. Una vez que se ha secado la molienda lo siguiente es colocar esta molienda dentro de un tambo giratorio, se recomienda que la carga que pueda colocarse en este tambo sea la mitad de este en volumen. El disolvente ha de cubrir $\frac{3}{4}$ en volumen del tambo. La condición de operación es la siguiente, el tambo girara 5 minutos, dando 30 vueltas por minuto abriendo la válvula de escape cada minuto, permitiendo que los vapores del disolvente se fluyan hacia un condensador mediante tubería de PET y sean llevados en estado líquido a un recipiente para su almacenamiento. La descarga del disolvente, una vez terminada esta parte del proceso; ha de hacerse por la parte superior del tambo que puede ser de manera manual o mediante bombeo.

La molienda lavada con el disolvente, es llevada a un ciclón para la separación de etiqueta separada de la hojuela de PET.

CAPITULO 3 DISEÑO DEL EQUIPO A NIVEL PLANTA PILOTO



HOJAS DE DATOS LAVADOR.

HOJA 1) DATOS RECIPIENTE CILINDRICO 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.	HOJA DE DATOS DE RECIPIENTE CILINDRICO. PROYECTO: AAH/CM05/07 HOJA 1 DE 1 NO- DE UNIDADES: 1
SERVICIO: LIQUIDO PARA LAVAR SÓLIDOS.	
CONDICIONES DE OPERACIÓN.	P. EXT. 78400 Pa TEMP (°C) 25
RADIOGRAFIADO	P. INT. 78400 Pa TEMP (°C) 25
TIPO DE MATERIAL: ACERO INOX. 304	CUERPO CABEZA
TAPAS: PLANAS: ACERO INOX 304	
CASCARON: CILINDRICO ACERO INOX.	
CASCARON	
ESPESOR REQUERIDO POR CODIGO: C-14	
CORROSION PERMITIDA:	
TIPO DE TAPAS: PLANAS	
ACCESORIOS:	
BOQUILLAS Y REGISTRO.	
NO. DE BOQUILLAS	NO. REQ.
1	1
4	4
DIA NOM.	SERVICIO
4 pg	SUCCION AGUA
0.5 pg.	DESCARGA AGUA

D= 0.5 Pg D= 0.5 pg L= 37.5 Pg

D= 0.5 Pg D= 0.5 Pg

D= 4 Pg

NIVEL DE PISO

REVISION: 0 1 2

FECHA: 17/ 10/ 07

ELABORO: A A H

APROBO: E L A

CAPITULO 3 DISEÑO DEL EQUIPO A NIVEL PLANTA PILOTO

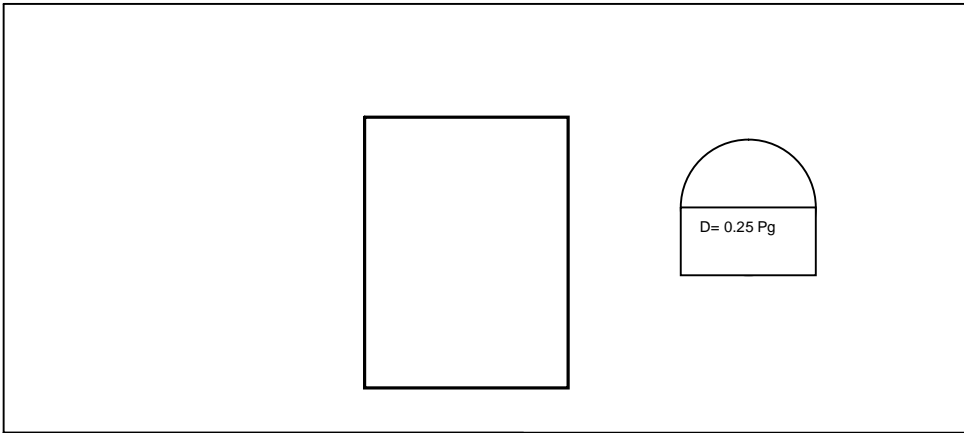


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.

HOJA DE DATOS DE RECIPIENTE CILINDRICO.
PROYECTO: AAH/CM05/07
HOJA 1 DE 1 NO- DE UNIDADES: 1

SERVICIO: ~~DISOLVENTES LIQUIDOS PARA LAVAR SÓLIDOS.~~

CONDICIONES DE OPERACIÓN.	P. EXT. 78400 Pa TEMP (°C) 25
	P. INT. 0.00726Pa TEMP (°C) 25
RADIOGRAFIADO	CUERPO CABEZA
TIPO DE MATERIAL: POLIETILENO Y POLIURETANO COMO AISLANTE.	
TAPAS: PLANAS POLIETILENO	
CASCARON: POLIETILENO	
CASCARON.	
ESPESOR REQUERIDO POR CODIGO:	
CORROSION PERMITIDA:	
TIPO DE TAPAS: ROSCADA POLIETILENO	
ACCESORIOS:	
BOQUILLAS Y REGISTRO.	
NO. DE BOQUILLAS	NO. REQ. DIA NOM. SERVICIO
1	1 0.25 pg PURGA VAPOR.

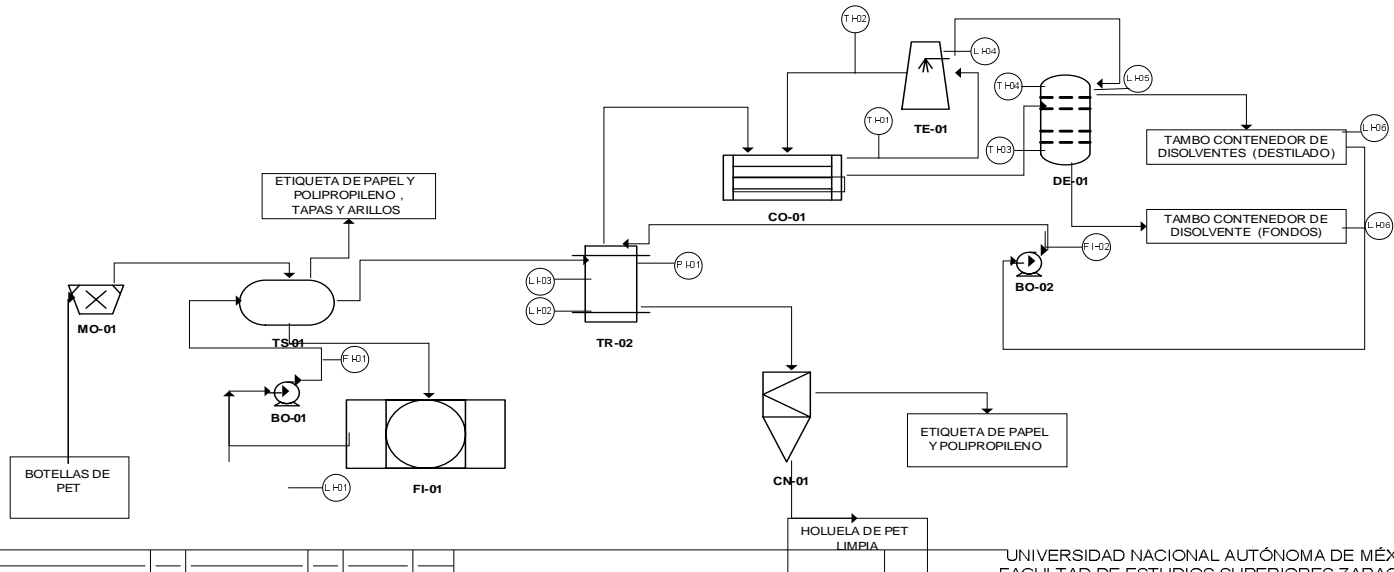


REVISION: 0 1 2
FECHA: 17/ 10/ 07
ELABORO: A A H
APROBO: E L A

DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN(DTI) DEL PROCESO LAVADO DE HOJUELA DE PET

LISTA DE EQUIPO

CLAVE	DESCRIPCION	SERVICIOS	CLAVE	DESCRIPCION	SERVICIOS
MO-01	MOLINO DE CUCHILLAS	OBTENCION DE MOJENDA DE PET	L1-01	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL DE SOLUCION ACUOSA EN EL TANQUE
TS-01	TANQUE SEPARADOR	LAV. DE PET Y SEPARACION DE ETIQUETA	L1-02	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL MÍNIMO DE DISOLVENTE
FI-01	FILTRO PARA AGUA	FILTRAR AGUA PARA LAVADO	L1-03	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL NORMAL DE DISOLVENTE
TR-02	TAMBO GIRATORIO	LAVADO DE PLÁSTICO CON DISOLVENTE	L1-04	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL DE AGUA EN TORRE DE ENFRIAMIENTO
BO-01	BOMBA CENTRIFUGA	PROVEER AGUA AL TANQUE SEPARADOR	L1-05	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL DE MEZCLA EN TORRE DE DESTILACIÓN
BO-02	BOMBA CENTRIFUGA	PROVEER DIS. AL TANQUE GIRATORIO	L1-06	INDICADOR DE NIVEL	NIVEL DE DISOLVENTE DESTILADO
CN-01	CICLON	SEPARAR ETIQUETA Y PET	T1-01	INDICADOR DE TEMPERATURA	TEMPERATURA DE AGUA A LA ENTRADA A TORRE DE ENF.
CO-01	CONDENSADOR	CONDENSAR VAPORES DEL DISOLVENTE	T1-02	INDICADOR DE TEMPERATURA	TEMPERATURA DE AGUA A LA SALIDA A TORRE DE ENF.
DE-01	DESTILADOR	PURIFICACION DE DISOLVENTES	T1-03	INDICADOR DE TEMPERATURA	TEMPERATURA DE LA TORRE DE DESTILACION
TE-01	TORRE DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA PROCESO	T1-04	INDICADOR DE TEMPERATURA	TEMPERATURA EN LA TORRE DE DESTILACION
PI-01	INDICADOR DE PRESION	PRESIÓN DE DISOLVENTE EN EL TANQUE	F1-01	INDICADOR DE FLUJO	FLUJO BOMBA 1
			F1-02	INDICADOR DE FLUJO	FLUJO BOMBA 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA	
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACION		DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	
PROCESO: MOLIENDA DE PET		DIBUJO NO. 01	
DESCRIPCION		REV 01	

LISTA DE EQUIPOS		
EQUIPO	CLAVE	CARACTERÍSTICAS
TANQUE SEPARADOR	T-201	D=1700 y L=3000

FIG. 1.1. ROTACIÓN DEL TANQUE
45°
PARA FACILITAR RECOLECCIÓN DE ESTUERMEN Y TAPA

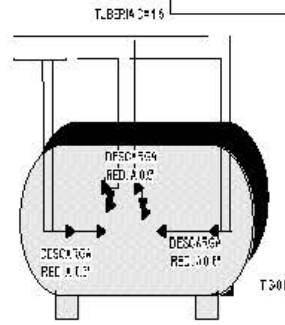
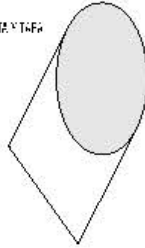
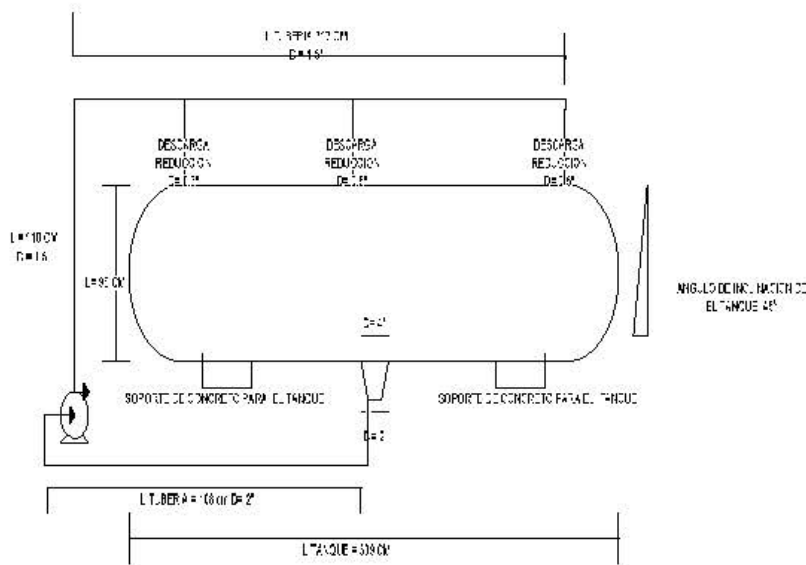
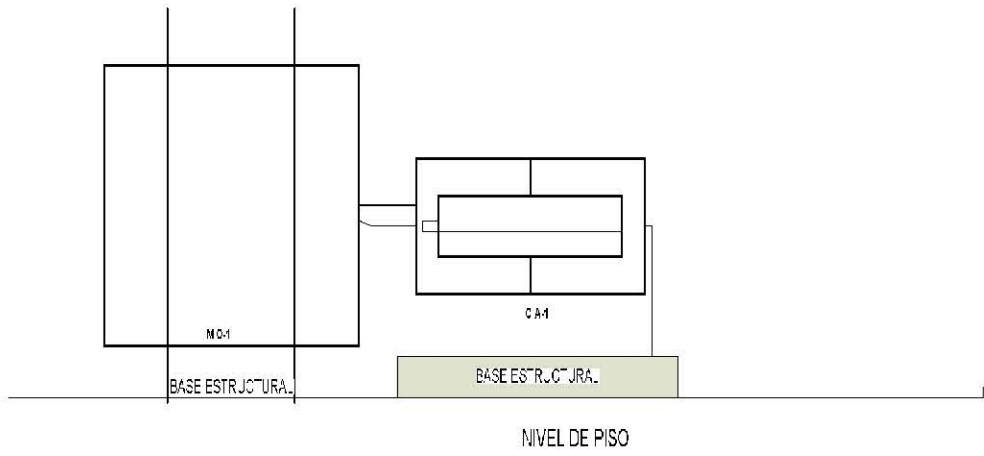


FIG. 1.2. VISTA DE LAS DESCARGAS
EN EL INTERIOR DEL TANQUE.

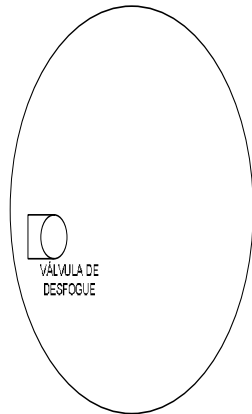


										FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA	
										DIAGRAMA TANQUE SEPARADOR	
										DISUJUNTO	REVISOR
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO											

LISTA DE EQUIPO		
EQUIPO	CLAVE	CARACTERISTICAS
MOTOR	MC-1	0.25 Hp - 30 RPM
CARCASA	CA-1	ACERO AL CARBON

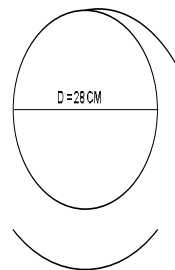
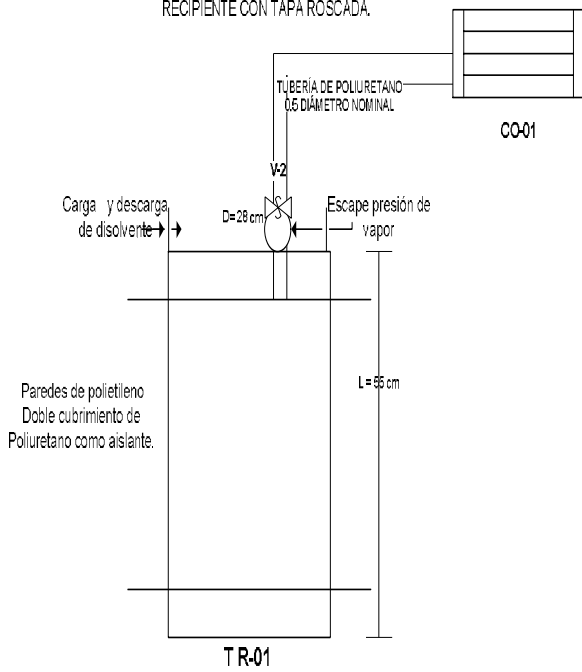


					FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA		
					DIAGRAMA MOTOR Y CARCASA PARA TANQUE GIRATORIO		
					DIBUJO NO. 01		REV. 01
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO							
PROFESOR	ESTUDIANTE	DATE	DE	DE			



RECIPIENTE CON TAPA ROSCADA.

LISTA DE EQUIPO		
EQUIPO	CLAVE	CARACTERISTICAS
TAMBO ROTATORIO	T R-01	D=280mm L=650mm
VALVULA DE SEGURIDAD	V - 2	VALVULA DE COMPUERTA
INTERCAMBIADOR DE CALOR	C 001	SERPENTIN



ACCIÓN ROTATORIA = 30 RPM

										FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.		
										DIAGRAMA TANQUE GIRATORIO		
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO										DIBUJO NO. 01	REV 01	
										DIBUJO DE REFERENCIA	APROV. F. CONST. DESORPOCK	DIE

CAPITULO 3 DISEÑO DEL EQUIPO A NIVEL PLANTA PILOTO



Finalmente se realizó una prueba con 450 Kg de molienda y con los datos obtenidos anteriormente en pruebas anteriores teóricamente se esperaba obtener lo siguiente:

80 % masa de hojuela de PET limpia. 360 Kg

18 % masa de etiqueta + tapa molida. 81 Kg

2 % masa de hojuela + etiqueta+ pegamento. 9 Kg

Resultados obtenidos durante la experimentación.

La prueba de lavado fue de 4 horas a recirculación en el tanque separador y se obtuvo lo siguiente.

Cantidad de PET Kg	Cantidad de hojuela limpia Kg	Cantidad de etiqueta + tapa Kg	Cantidad de hojuela de PET + etiqueta+ pegamento Kg	% de hojuela limpia	% de etiqueta + tapa	% de hojuela de PET + etiqueta+ pegamento
450	346.5	76.5	27.5	77	17	6

Los resultados que se obtuvieron pudieran ser diferentes a la distinta cantidad manejada y al tiempo de lavado.

Para el segundo lavado con disolvente, donde ha de someterse la fracción de hojuela + pegamento + etiqueta adherida o el 6% obtenido, se hizo por lotes en el tambo giratorio para lo cual aleatoria mente se determino emplear 8 l de disolvente agregando 4 Kg por carga, para lo que se emplearon 5 minutos por cada carga.

Durante esta operación se observó que a partir de la 5ta carga el disolvente ya no disolvía el pegamento llegando a su punto de saturación. Teniendo así, que cambiarlo para las cargas 6 y 7.

Suponiendo entonces que semanalmente se han de emplear para lavar esa cantidad de hojuela 16 l de mezcla de disolventes.

CAPITULO 3 DISEÑO DEL EQUIPO A NIVEL PLANTA PILOTO



La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de cada una de las cargas.

Carga (4 Kg)	Hoj + etiq + peg (Kg)	Hojuela (Kg)	Etiqueta(Kg)	% hojuela	% etiqueta
1	4	3.86	0.12	96.5	3
2	4	3.83	0.14	96	3.5
3	4	3.80	0.17	95	4.25
4	4	3.83	0.16	95.75	4
5	4	3.87	0.125	96.75	3,12
6	4	3.81	0.19	95	5
7	3.5	3.3	0.17	95	5
Total cargas	Total kg PET + etiqueta + pegamento	Total kg hojuela	Total kg etiqueta		
8	27.5	26.3	1.75		

En las cargas 6 y 7 ya no hubo disolución del pegamento contenido en las hojuelas, por lo que se tuvo que cambiar el disolvente en el tambo.

CAPITULO 4

ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO



CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



Durante este apartado, se expondrán algunos puntos que son necesario saber acerca de la economía y como se puede aplicar al proyecto. Se ha de citar que la finalidad es obtener una fuente de ingresos para la facultad de estudios superiores zaragoza. Un ejemplo de la ruta que se pretende seguir con el proyecto, se muestra a continuación.

- 1) Fuente de obtención de la materia prima.
- 2) ¿Qué se pretende hacer con la materia prima con la que se cuenta?
- 3) ¿Qué recursos se tienen para procesar la materia prima a fin de que se pueda convertir en la satisfacción de alguna necesidad?.
- 4) ¿Cuánto costará la inversión en esos recursos para el tratamiento del PET?
- 5) Identificar el mercado donde se pueda colocar con facilidad la materia prima una vez que esta se ha transformado.
- 6) La ganancia neta que se obtendrá al distribuir y vender la materia prima transformada.

Consideremos al proyecto como una industria, una fuente que creara ingresos para la facultad, primeramente, el plástico es un tema de actualidad, y se sabe que es reutilizado de muchas formas. La reutilización principal para este plástico que se trata en el proyecto (PET) se da en la industria textil, pues muchas fibras textiles actualmente están constituidas en un gran porcentaje de PET reciclado, también se utiliza en tuberías se esta construyendo tuberías de PET que pueden ser empleadas en lugar de PVC por su alta resistencia a los esfuerzos. En días actuales, en Alemania se esta buscando reutilizar el PET reciclado en la manufactura de nuevas botellas para el almacenamiento de líquidos.



CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



ALGUNOS CONCEPTOS ECONÓMICOS EN EL PROYECTO.

Empresa: desde un punto de vista económico y considerando al proyecto como empresa, se puede definir como una unidad que produce bienes y servicios para satisfacer una necesidad, y que estos bienes y servicios pueden colocarse en un mercado.

Por supuesto, esta tiene una columna vertebral en la cual se sostiene, son tres grandes elementos y estos son:

Bienes materiales. Cuéntese infraestructura, equipos de proceso, servicios auxiliares, herramientas. También materias primas, y el capital, el cual es el sustento de la empresa.

- 1) Recursos humanos. Donde se encuentran los trabajadores, operadores de procesos, así como la alta dirección director, ejecutivos, accionistas.
- 2) Sistemas. Donde encontramos redes de cómputo para diferentes fines, distribución, depósitos, cobranzas.



CONSIDERACIONES ECONÓMICAS DEL PROYECTO

La parte importante del proceso del lavado de hojuela de PET reciclado, es la parte económica, se investigaron los precios actuales y la disponibilidad de los reactivos que se utilizaran para llevar a cabo dicho proceso. Estas partes se han dividido en las dos partes que forman el lavado de la hojuela.

Primera etapa: lavado de hojuela de PET con disolución acuosa al 3% de NaOH.

Reactivo: NaOH

Presentación: lentejas	Presentación: liquido. 50%
Cantidad: 10 kg	Cantidad: 20 lts.
Precio: \$4243.5	Precio: \$ 634.8
Calidad: usp. – 05	Calidad: grado técnico.
Marca: meyer.	Marca: meyer.

LOS PRECIOS INCLUYEN 15% DE IVA.

Segunda etapa: lavado de las hojuelas + etiqueta adherida + pegamento.

Reactivo: p-Xileno.

Cantidad: 20 lts.	Cantidad: 18 lts	Cantidad: 200 lts.
Precio: \$1151.15	Precio: \$1387.20	Precio: \$3792
Calidad: grado técnico.	Calidad: grado analítico.	Calidad: grado anal.
Marca meyer.	Marca: Fermont.	Marca: fermont.
Reactivo: Acetona.		
Cantidad: 20 lts.	Cantidad: 18 lts.	Cantidad: 200 lts.
Precio: \$1278.80	Precio: \$1108.80	Precio: \$4065.00
Calidad: grado técnico.	Calidad: grado analítico	Calidad: grado anal.
Marca: meyer.	Marca: fermont.	Marca: fermont.

. LOS PRECIOS INCLUYEN 15% DE IVA



FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.

INVERSION TOTAL.

La inversión total del proyecto, esta referida a 3 aspectos fundamentales, los cuales son:

- 1) Activo fijo.
- 2) Gastos preoperativos
- 3) Capital de trabajo.

1 ACTIVO FIJO.

Esta formado por todos los bienes y derechos, propiedad del negocio que tienen cierta permanencia o fijeza, y se han adquirido con el propósito de usarlos y no de venderlos.

2 GASTOS PREOPERATIVOS.

Esta definido por los gastos que se han de hacer, antes de la puesta en operación de una empresa, proyecto, o planta de proceso, estos podrían ser los gastos de ingeniería, gastos de instalación, notarios, permisos para construcción, etc.

3 CAPITAL DE TRABAJO.

Es el dinero requerido para solventar los gastos de la empresa, proyecto o planta, mientras existe una utilidad neta.

Para este proyecto se tomo en cuenta solamente el apartado 1 de la inversión total, el cual es; el activo fijo. Esto se hizo debido a que se cuenta con la planta en operación dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México, por tal motivo no están considerados los gastos preoperativos ni el capital de trabajo.

En este proyecto el activo fijo esta definido por:

CONCEPTO	PRECIO (1/\$)
1) molino de aspas.	45.500
2) Tanque de acero inoxidable de 1500 l.	7,500
3) Tambo de poliuretano.	450
4) Bomba centrifuga para agua.	470
5) Motor de 30 rpm.	900
6) Tubería de pvc.	2,000
TOTAL=	\$ 56,820

LOS PRECIOS SE DAN PARA EQUIPOS DE MEDIO USO.

PRECIOS AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2007

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



ESTRUCTURA FINANCIERA:

Se refiere al capital disponible para la realización del proyecto, y el cual, puede ser obtenido de dos partes, estas son: capital social y créditos.

Créditos: en el caso de que no se tenga el capital total para la inversión por parte de los socios, se puede contar con préstamos de instituciones bancarias para la puesta en marcha del proyecto. Para la realización del proyecto, **No se pedirán créditos.**

Capital social: es el capital que será aportado por los cada uno de los socios del proyecto. En el caso para la realización de este proyecto, contaremos con el capital social, el cual será otorgado por la Universidad Nacional Autónoma de México.

PRESUPUESTO DE INGRESOS

Esta definido por el concepto de volumen de producto distribuido por el precio de venta, este deberá ser de forma anual y estas serán entradas positivas.

Definidas en el proyecto esta la cantidad de hojuela de PET limpia que se pondrá a la venta en el mercado, así; se tiene que:

Capacidad máxima por semana: $450\text{kg} \times \$4.50 = \2025

Consideremos, que el equipo operara durante 16 semanas durante el semestre:

$$(\$2025 / \text{semana}) \times (16 \text{ semanas} / \text{semestre}) = \$32400 \text{ semestre.}$$

Ahora de forma anual, se tiene:

$$(\$32400 / \text{semestre}) * (2 \text{ semestres} / \text{año}) = \$64800 \text{ año}$$

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



PRESUPUESTO DE EGRESOS.

Esta definido por los costos del proceso para la obtención de la hojuela de PET limpia para la puesta en venta, fundamentalmente en materias primas, pago por servicios, y el pago por mano de obra.

MATERIAS PRIMAS.

Botella de PET, la cual es reciclada, para lo cual, se costeara el transporte de las botellas recicladas hacia el centro de acopio, considerándolo como una renta, por lo tanto; se tiene que:

Cada cuatro semanas: 1 camioneta = \$100 concepto de transporte.

Por lo tanto 16 semanas / semestre = \$400 / semestre.

Y anualmente el costo del transporte de las botellas de PET será de:

$$(\$400 / semestre) * (2 semestres/1 año) = \$ 800 / año.$$

NaOH

Como agente lavador para obtención de la hojuela de PET limpia, del cual; se obtienen las siguientes cotizaciones:

\$423 x 10 kg al 98% en hojuela.

Mientras, en estado líquido al 50% el costo es de \$33 por lt.

Se determinó mediante las pruebas de laboratorio utilizar NaOH en disolución para reeditar en la parte económica del proceso, así que para cada lavado con 1500 l se utilizaran 5 l, por lo tanto tenemos que:

3000 lts agua/semana = 10 l NaOH al 50%

Entonces; 16 semanas = (10 l NaOH) * (16 semanas/ semestre) = 160 l NaOH;
por lo que anualmente se tiene: (160 l/sem) * (2 semestres/ año) = 320 l NaOH

Con respecto a los gastos se tiene lo siguiente:

$$(\$330 / 10 l NaOH/ semana) * (16 semanas / semestre) = \$5280 /semestre$$

Por lo tanto:

$$(\$5280/ semestre) * (2 semestres / año) = \$10560 / año$$



Acetona y/o p-Xileno

Como disolvente del pegamento contenido en las hojuelas de PET Se muestra un listado de los precios al 30 de sept. Del 2007 de los dos reactivos que pueden ser empleados para la disolución del pegamento en la hojuela de PET, ya que ambos disolventes; resultaron eficaces en las pruebas de laboratorio.

- 1.1) p-Xileno \$ 16 X It si se compran 200 lt en grado tecnico.
- 1.2) p-Xileno \$ 57 X It si se compran 20 lt en grado técnico.
- 1.3) p-Xileno \$ 77 X It si se compran 18 lt en grado analítico

- 2.1) Acetona \$17 X It si se compran 200 lt en grado técnico
- 2.2) Acetona \$63 X It si se compran 20 lt en gado técnico.
- 2.3) Acetona \$61 X It si se compran 18 lt en grado analítico.

el segundo criterio para la elección del disolvente, es el poder de saturación del pegamento en este, entonces se decidió tomar a la acetona como disolvente. Por lo tanto se tiene:

Acetona \$17 * 200lt = 3400 tambor de 200 lts

Mediante pruebas anteriores en campo se determino utilizar 400 lts por semestre o dos tambores de disolvente. Por lo tanto el gasto semestral en disolventes seria:

$(\$3400) * (2) = \$6800 / \text{semestre.}$

Finalmente el gasto anual en disolvente seria de:

$(\$6800) * (2 \text{ semestres/año}) = \$13600/ \text{año.}$

Ahora bien, en el laboratorio de desarrollo de procesos se cuentan con tambores de 200 lts con mezclas de disolventes, los cuales fueron empleados para la disolución del pegamento, dando resultados aceptables como se muestra en el capítulo 2 y capítulo 5, por lo tanto; en este momento no se estarán considerando del presupuesto de egresos

$(\$8130 * 2 \text{ semestres}) = 16260 / \text{año.}$



SERVICIOS

Dentro del presupuesto de egresos, también se cuentan los servicios y estos son:

- 1) **electricidad:** Kw./hr * costo de Kw.
- 2) **agua:** lts / hr * costo de lt
- 3) **mano de obra:** horas hombre/x sueldo
- 4) **mantenimiento del equipo.**

Desglosando la información sobre los servicios tenemos.

1) Electricidad:

Se tiene una bomba de 3 hp por lo que trabajando esta durante 9 hrs. en la semana se tiene: 3 hp → 2.3095 Kw/hr.

Trabajando durante 9 horas en la semana, se tendrá:
 $(2.3095 \text{ Kw/hr}) * (9 \text{ hr / semana}) = 20.79 \text{ Kw. / Semana}$

Ahora bien, 1 Kw. = \$ 1.17 /Kw.

Por lo tanto:

$(20.79 \text{ Kw. / semana}) * (\$1.17 / \text{Kw}) = \$24 / \text{semana.}$

Consideremos 16 semanas de trabajo del periodo semestral.

$(\$24 / \text{semana}) * (16 \text{ semanas / semestre}) = \$389 / \text{semestre.}$

Para finalmente obtener un gasto anual en la bomba de:

$(\$389 / \text{semestre}) * (2 \text{ semestres / año}) = \$778 / \text{año}$

Por otro lado se cuenta con un motor de 30 rpm, para la segunda etapa del proceso, el lavado de hojuela de Pet con disolvente; el cual cuenta con ¼ hp de potencia, por lo que, en términos de consumo energético tenemos.

0.25 hp → 0.001924 Kw/hr.

Utilizando el equipo motor para el tambo giratorio 9 horas por semana, se tiene que: $(0.0019247 \text{ Kw/hr}) * (9 \text{ hr / semana}) = 0.017323 \text{ Kw. / semana}$

Con la relación anterior de \$1.17/ Kw. semanalmente se tendrá un gasto en el motor de:

$(0.017323 \text{ Kw / semana}) * (\$1.17 / \text{Kw}) = \$0.020268 / \text{semana.}$



CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



Si el tiempo de trabajo de semestre lectivo es de 16 semanas se tiene:
 $(\$0.020268 / \text{semana}) * (16 \text{ semanas} / \text{semestre}) = \$0.324288 / \text{semestre}.$

Para que anualmente se tenga un gasto en el motor:

$$(\$0.324288 / \text{semestre}) * (2 \text{ semestres} / \text{año}) = \$0.648576 / \text{año}.$$

Así, se obtiene un gasto total de consumo eléctrico de:

$$\$ 779 / \text{año}$$

2) Suministro de agua:

Las tarifas de agua actuales, para uso no domestico se muestran a continuación:

Consumo en m ³		Tarifa	
Límite Inferior	Límite Superior	Cuota Mínima	Cuota Adicional por metro cúbico excedente al límite inferior
0	10	\$90.31	\$0.00
MAYOR A 10	20	180.54	0.00
MAYOR A 20	30	270.87	0.00
MAYOR A 30	60	270.87	13.38
MAYOR A 60	90	673.43	17.44
MAYOR A 90	120	1,196.83	21.46
MAYOR A 120	240	1,841.12	25.46

Semanalmente se usaran 1500 lts o 1.5m³ de agua, y dado que las tarifas están en forma bimestral, en 8 semanas se utilizaran 24 m³. Por lo que el gasto será de \$270 / bimestre.

Durante 16 semanas de operación o periodo lectivo semestral, equivalente a 2 bimestres, el gasto será de:

$$(\$270 / \text{bimestre}) * (2 \text{ bimestres}) = \$ 540$$

Y anualmente se gastara:

$$(\$541) * (2 \text{ semestres} / \text{año}) = \$ 1082 \text{ año}.$$



CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



Dentro del presupuesto de egresos, también están considerados los gastos de personal, en este caso, será considerada la mano de obra.

MANO DE OBRA.

Es el gasto que se tendrá que hacer para pagar a los operadores del proceso, para lo cual; se tienen contempladas 9 Horas/ semana y con esto se obtuvieron los siguientes datos:

Tiempo disponible: 9 hr

Sueldo horas hombre: \$39 / hr. Por lo tanto a la semana el gasto en sueldo por horas hombre será de:

$$(\$39/ \text{hr}) * (9 \text{ hr/ semana}) = \$350 / \text{semana.}$$

Considerando 16 semanas del semestre se tiene:

$$(\$350 / \text{semana}) * (16 \text{ semanas} / \text{semestre}) = \$ 5600 \text{ semestre}$$

Para anualmente obtener un gasto en mano de obra:

$$(\$5600 \text{ semestre}) * (2 \text{ semestres/ año}) = \$11,200 / \text{año.}$$

4) Mantenimiento del equipo:

El mantenimiento del equipo se hará cada año y se tendrán disponibles para el mantenimiento \$1200

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



ESTADO DE RESULTADOS

CONCEPTO/AÑOS	1	2	3	4	5
+ VENTAS	64,800	64,800	64,800	64,800	64,800
-COSTOS TOTALES					
M. P.					
Botellas.	800	800	800	800	800
NaOH.	10560	10560	10560	10560	10560
Acetona.	13600	13600	13600	13600	13600
Electricidad.	779	779	779	779	779
Agua.	1083	1083	1083	1083	1083
Mantenimiento.	1200	1200	1200	1200	1200
Mano de obra.	11200	11200	11200	11200	11200
TOTAL COSTOS	39222	39222	39222	39222	39222
UTILIDAD BRUTA	25578	25578	25578	25578	25578
UTILIDAD NETA	25578	25578	25578	25578	25578

DEPRECIACIÓN

Este concepto financiero esta regido por la siguiente ecuación.

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Valor actual del equipo}}{10 \text{ años}}$$

DEPRECIACIÓN	
CONSEPTO DEPRECIACION:	
-MOLINO DE ASPAS.	4550
-BOMBA.	47
-TANQUE DE ACERO AL CARBON.	750
-TANQUE DE POLIURETANO.	45
-MOTOR DE 0.25 HP	90
TOTAL DEPRECIACIÓN	5482

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



CONCEPTO	PERIODO PREOPERATIVO	1	2	3	4	5
+ ENTRADAS						
UTILIDAD. NETA	0.00	25578	25578	25578	25578	25578
DEPRECIACION	0.00	5482	5482	5482	5482	5482
TOTAL ENTRADAS	0.00	31060	31060	31060	31060	31060
- SALIDAS						
CAPITAL SOCIAL	56820					
TOTAL SALIDAS	-56820	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Para el quinto año el valor de rescate del 50% de los activos fijos será de:

Molino de aspas.	$45.500 \cdot (0.5) = 22750$
Tanque de acero al carbón de 3000 l.	$7,500 \cdot (0.5) = 3570$
Tambo de poliuretano.	$450 \cdot (0.5) = 225$
Bomba centrífuga para agua.	$470 \cdot (0.5) = 235$
Motor de 30 rpm.	$900 \cdot (0.5) = 450$
Tubería de pvc.	$2,000 \cdot (0.5) = 1000$
TOTAL=	\$ 56,820 → \$ 28230

El valor de rescate que se expuso anteriormente, obedece a que la operación del equipo se contempla a cinco años, y se tomara la decisión de finalizarlo al concluir dicho periodo. Por otro lado, si el proyecto decidiera cerrar filas en mas de cinco años, por ejemplo ocho, el porcentaje para el valor de rescate del equipo dependerá de la funcionalidad del equipo, los criterios tomados por la industria para equipo de operación pueden ser de 10% a 30% para un periodo de operación de entre siete y diez años.

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



VALOR PRESENTE NETO (V.P.N.)

El valor presente neto es el valor actual de los flujos de caja netos menos la inversión inicial, y esta regido por la expresión:

$$VPN = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \frac{F_4}{(1+i)^4} + \frac{F_5}{(1+i)^5}$$

Donde: F_0 = inversión inicial.

F_1 a F_5 = flujos de caja netos de los periodos anuales.

i = inflación, la cual se considerara del 5%

Por lo tanto el valor presente neto del proyecto (V.P.N.) es:

$$VPN = -56820 + \frac{31060}{(1+0.05)^1} + \frac{31060}{(1+0.05)^2} + \frac{31060}{(1+0.05)^3} + \frac{31060}{(1+0.05)^4} + \frac{31060}{(1+0.05)^5}$$

$$VPN = -56820 + 29580 + 28172 + 26830 + 25533 + 24336$$

VPN= 77631

AÑO	FLUJO DE EFECTIVO (F. E.) (\$)
PERIODO PREOPERATIVO	-56820
1	29580
2	28172
3	26830
4	25533
5	24336



TASA INTERNA DE RETORNO (T I R)

La tasa interna de retorno es la i que cumple que la expresión del valor presente neto (VPN) sea igual a cero o tienda a cero con un margen de error de 0.01

La expresión queda como sigue:

$$0 = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \frac{F_4}{(1+i)^4} + \frac{F_5}{(1+i)^5}$$

Por lo tanto de forma iterativa se encontrara el valor de i que cumpla la expresión.

$$0 = -56820 + \frac{31060}{(1+i)^1} + \frac{31060}{(1+i)^2} + \frac{31060}{(1+i)^3} + \frac{31060}{(1+i)^4} + \frac{31060}{(1+i)^5}$$

CUANDO i	%	F (i)
(0.15)	15	47297.9374
(0.30)	30	18828.7965
(0.40)	40	6392.1913
(0.41)	41	5342.8874
(0.45)	45	1433.8780
(0.47)	47	-362.4688
(0.46)	46	523.3432
(0.465)	46.5	77.4044
(0.466)	46.6	-11.0520
(0.4658)	46.568	0.023

La tasa interna de retorno es de: 46.568%

CAPITULO 4. ESTIMACION DE COSTOS DEL PROYECTO.



TIEMPO DE RECUPERACION DE CAPITAL (TRC)

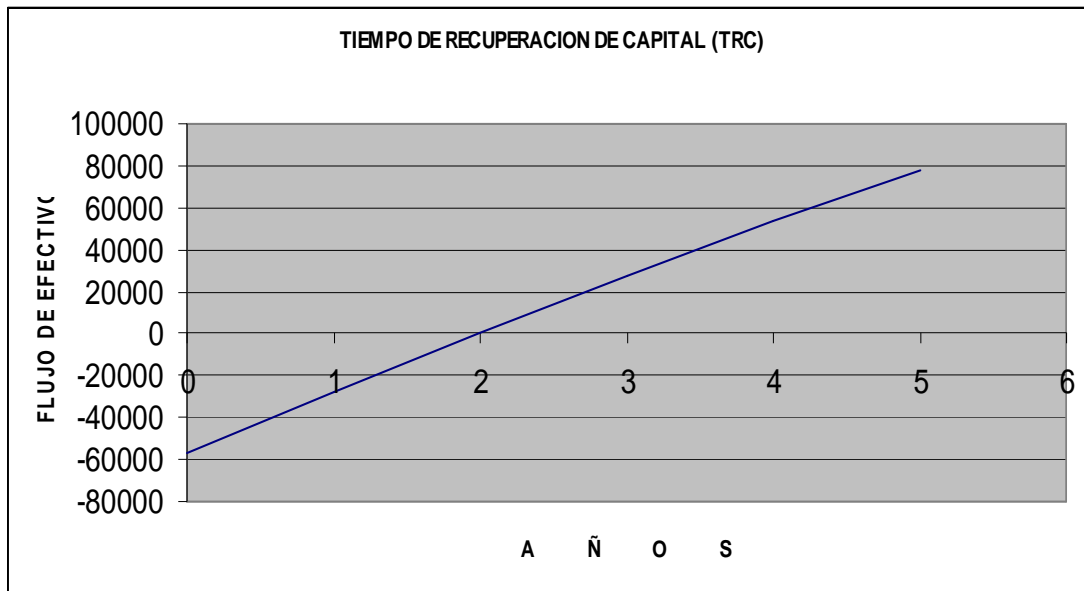
Consiste en la determinación del tiempo necesario para que los flujos de caja netos positivos sean iguales al capital invertido. Lo cual, para el proyecto; se ilustra en la siguiente tabla.

PERIODO (AÑOS)	FLUJO DE EFECTIVO (F.E.)	FLUJO DE EFECTIVO DESCONTADO (F.E.D.)	FLUJO DE EFECTIVO DESCONTADO A CUENTA (F.E.D.A.)
0	-56820	-56820	-56820
1		29580	-27240
2		28172	+932
3		26830	27762
4		25533	53295
5		24336	77631

28172 —————> 12 meses
 27240 —————> 11.5 meses

Así, el tiempo de recuperación de capital es de 2 años aproximadamente.

AÑOS	FLUJO DE EFECTIVO
0	-56820
1	-27240
2	932
3	27762
4	53295
5	77631



CAPITULO 5

RESULTADOS OBTENIDOS.

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



Los resultados que se obtuvieron en las diferentes etapas del proceso se citan a continuación, en primera instancia se menciona, los resultados que se encontraron a nivel laboratorio, en pruebas cualitativas.

La siguiente tabla e imagen muestran los resultados experimentales obtenidos en la primer etapa del proyecto.

Lavado de PET con solución acuosa a diferentes concentraciones, a nivel laboratorio.

Cantidad de PET	Solución NaOH (3%)	Solución NaOH (5%)	Solución NaOH (7%)	Solución NaOH (10%)	Resultados Obtenidos (g. de PET)	Resultados Obtenidos (g. de Etiqueta + tapa molida)	Apariencia de la hojuela de PET lavada
20 grs.	x				18.1	1.9	Transparente
20 grs.		x			18.1	1.9	Transparente
20 grs.			x		17.9	2.1	Transparente
20 grs.				x	18.75	1.25	Transparente



IMAGEN 5.1) RESULTADOS DEL PRIMER LAVADO A NIVEL LABORATORIO TOMANDO 20 GRs EN CADA MUESTRA.

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



De los cuales, se muestran los gramos de hojuela + etiqueta adherida que se encontraron en las primeras 4 pruebas.

grs. de PET	Solución NaOH (3%)	Solución NaOH (5%)	Solución NaOH (7%)	Solución NaOH (10%)	g. de PET + hojuela adherida
18.1	x				2.1
18.1		x			1.95
17.9			x		2.1
18.75				x	1.8

Posteriormente con una mayor cantidad que fue de 1 Kg. siguiendo la metodología, se muestran los resultados obtenidos

Resultados obtenidos a nivel laboratorio.

Primer corrida

Cantidad de molienda de PET (Kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(Kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (Kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (Kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET + etiqueta + pegamento	% de etiqueta + tapa molida
1	0.156	0.798	0.046	79.8	4.6	15.6

Segunda corrida

Cantidad de molienda de PET (Kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(Kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (Kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (Kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET + etiqueta + pegamento	% de etiqueta + tapa molida
1	0.178	0.78	0.042	78	4.2	17.8

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



Tercer corrida

Cantidad de molienda de PET (Kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(Kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (Kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (Kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET + etiqueta + pegamento	% de etiqueta + tapa molida
1	0.202	0.785	0.013	78.5	1.3	20.2

Promedio de las tres corridas:

0.7876 Kg de PET	79%
0.1786 Kg de etiqueta y tapa	18%
0.0336 Kg de PET+ pegamento + etiqueta	3%

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



Resultados obtenidos a nivel planta piloto.

Al hacer pruebas de campo, a nivel planta piloto, los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Primera corrida.

Cantidad de molienda de PET (Kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(Kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (Kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (Kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET + etiqueta + pegamento	% de etiqueta + tapa molida
50	6.8	40.9	2.3	81.8	3.6	14.6

Segunda corrida.

Cantidad de molienda de PET (Kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(Kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (Kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (Kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET + etiqueta + pegamento	% de etiqueta + tapa molida
50	7.9	39.5	2,6	79	5.2	15.8

Tercera corrida.

Cantidad de molienda de PET (kg)	Cantidad de etiqueta + tapa molida(kg)	Cantidad de PET limpio sin etiqueta (kg)	Cantidad de PET + etiqueta+ pegamento (kg)	% de PET limpio sin etiqueta	% de PET limpio sin etiqueta	% de etiqueta + tapa molida
50	9.8	38	2.2	76	4.4	19.6

Promedio de las tres corridas:

39.4666 Kg de PET limpio	79%
08.1666 Kg de etiqueta y tapa	16%
0.23666 Kg de PET+ pegamento + etiqueta	5%

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



Cantidad de PET Kg	Cantidad de hojuela limpia	Cantidad de etiqueta + tapa	Cantidad de hojuela de PET + etiqueta+ pegamento	% de hojuela limpia	% de etiqueta + tapa	hojuela de PET + etiqueta+ pegamento
450	346.5	76.5	27.5	77	17	6

La última prueba en planta piloto fue con 450 kg como lo indica las tablas, obteniéndose lo siguiente

Cantidad de PET Kg	Cantidad de hojuela limpia	Cantidad de etiqueta + tapa	Cantidad de hojuela de PET + etiqueta+ pegamento	% de hojuela limpia	% de etiqueta + tapa	hojuela de PET + etiqueta+ pegamento
450	346.5	76.5	27.5	77	17	6

La tabla muestra los datos obtenidos de las cargas en el tambor giratorio.

Carga (4 Kg)	Hoj + etiq + peg (Kg)	Hojuela (Kg)	Etiqueta(Kg)	% hojuela	% etiqueta
1	4	3.86	0.12	96.5	3
2	4	3.83	0.14	96	3.5
3	4	3.80	0.17	95	4.25
4	4	3.83	0.16	95.75	4
5	4	3.87	0.125	96.75	3,12
6	4	3.81	0.19	95	5
7	3.5	3.3	0.17	95	5
Total cargas	Total Kg PET + etiqueta + pegamento	Total Kg hojuela	Total Kg etiqueta		
8	27.5	26.3	1.75		

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS.



RESULTADOS FINANCIEROS.

Aquí se presenta un resumen de los datos obtenidos financieramente.

Concepto de inversión total: \$56820

Concepto de valor presente neto: VPN= \$ 77631

Tasa interna de retorno: T.I.R. = %46.568

Tiempo de recuperación de capital. Dado que el proyecto esta destinado durante 5 años, el tiempo de recuperación de capital invertido es de 23 meses y medio, es decir; aproximadamente 2 años.



CONCLUSIONES

Dada la tendencia del reciclamiento del plástico, la facultad de estudios superiores Zaragoza contribuye a ayudar al medio ambiente, mediante el acopio de desechos sólidos; específicamente, plásticos, dando a estos, un tratado físico-químico para limpieza y pueda darse a estos plásticos un uso posterior, como una alternativa más en la vanguardia del reciclaje.

El objetivo principal del proyecto, el cual es eliminar en las hojuelas de PET el polvo y el pegamento se cumplió, dados los resultados arrojados por la fase experimental, a partir de los métodos físico-químicos aplicados, los cuales fueron sedimentación, diferencia de densidades, así como alternativas de solubilidades del pegamento, el cual al momento de las pruebas era desconocido en disolventes orgánicos polares y no polares, hasta encontrar el adecuado para su disolución.

El proyecto en este momento optimiza en sus recursos, ya que el lavado se hace utilizando una solución acuosa de NaOH al 3%, mientras que el disolvente empleado es acetona, y como segunda opción es el p- Xileno, los cuales en el laboratorio de desarrollo de procesos para destilación, empleando estas mezclas de disolventes en el lavado se obtienen los resultados deseados. Así, el proceso estará optimizando económicamente en cuanto a la compra de disolventes que se requieren en el proceso. Esto redituaria en cuanto al tiempo de recuperación de capital, ya que, como se ha mencionado; no se estarían considerando gastos en cuanto a la compra de los disolventes.

CONCLUSIONES.



RECOMENDACIONES.

Una alternativa a la acetona y al p-Xileno para la disolución del pegamento en las hojuelas de PET, es el acetato de etilo, el cual puede ser producido mediante una reacción de esterificación para fines académicos.

La hojuela limpia obtenida después del proceso, contiene humedad, la cual afecta el posterior procesamiento de este material, por lo que se puede utilizar un secador, un secado por malla molecular, y la opción de someter a 100°C la hojuela durante 12 horas.

Para efecto de recuperar el hidróxido de sodio, se ha pensado en un evaporador solar, y el cual estaría ubicado en la parte de azotea del laboratorio de desarrollo de procesos, para evaporar el agua utilizada y recuperar el hidróxido de sodio.

El disolvente utilizado para eliminar el pegamento adherido a la hojuela de PET, puede destilarse con fines académicos y ser reutilizado para lavados posteriores de las hojuelas de PET.



BIBLIOGRAFÍA

1. Química y tecnología de los plásticos.
Walter E. Driver
Editorial continental, 1981, México D.F, tercera reimpresión.
2. Procesamiento de plásticos.
D.H. Morton-Jones.
Editorial limusa Mexico D.F. 1993, primera edición.
3. Chemical aspects of plastics recycling.
W. Hoyle. D. R. Karso
The royal society of chemistry, Manchester Inglaterra 1996.
4. Emerging Technologies in plastics recycling.
Gerald D. Andrews. Pallatheri M. Subramaniam.
American society of chemistry, E.U. 1992.
5. Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones.
Irvin I. Rubin.
Limusa- Noriega editores, México D.F. 1988, primera edición.
6. Química y física de los altos polímeros y materias plásticas.
p. Martínez de las Marías.
Editorial alhambra, España 1977, primera edición.
7. HAWLEY Diccionario de química y de productos químicos.
Richard J Lewis S.R.
Editorial Omega, Barcelona España 1993, novena edición.
8. Operaciones básicas de ingeniería química. Vol. I
Warren L. Mccabe
Editorial Reverte, Barcelona España 1978, primera impresión.
9. Operaciones básicas de ingeniería química. Vol. II
Warren L. Mccabe
Editorial Reverte, Barcelona España 1978, primera impresión.
10. Lang'es Handbook of chemistry.
John A. Dean.
Editorial Mc Graw-Hill book company, 11 edición.

BIBLIOGRAFÍA



11. Principios de operaciones unitarias. Vol I.
Alan S. Foust. Leonard A: Wenzel
Editorial continental, México D.F., 1993, cuarta reimpresión.

12. Administración de la producción y las operaciones
Adam Everett E.
Editorial Prentice Hall. 1991

13. Primer curso de contabilidad
Elías Lara Flores.
Editorial trillas, México D.F., 1995 primera reimpresión

14. Applied Process design for chemical and petrochemical plants.
Ernest. G. Ludwing.
Editorial Gula Publishing Company, Houston Texas E.U. 1984, segunda reimpresión.

15. Flujo de fluidos en válvulas y accesorios.
Crane.
Editorial McGraw-Hill, México D.F. 1990, primera edición en español.

16. Manual fluka.
Riedel- De Haen.
Editorial Sigma-Aldrich, edición 2007/2008.

17. Catalogo Aldrich, ediciones 2003-2004, 2004-2005.

PAGINAS WEB

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

<http://www.platea.com.mx>

<http://www.quiminet.com.mx>

<http://www.enavapack.com.mx>

<http://www.petroquimica.com.ar>

<http://www.petroleogas.com>

<http://www.aprepet.com.org>

<http://www.equipmex.com.mx>

<http://www.finanzasdf.gob.mx>

<http://www.directindustry.es/>

<http://www.invenia.es/>

<http://www.tecnapol.com>

ANEXO 1

NORMAS DE RECICLAJE.



MARCO NORMATIVO

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente define a un residuo como "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó". Dicha ley define que un residuo, es cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo genero; así mismo un residuo peligroso lo define como todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Dentro de estos residuos se encuentran los no peligrosos (empaques de cartón, papel, plástico, residuos de oficinas, orgánicos, etc.) y los peligrosos que, de acuerdo a la Ley citada, se definen como "Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas, infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente".

En México no existe una legislación específica que trate sobre el reciclaje de residuos sólidos de tipo municipal y las medidas de prevención, control y restauración que se deben implementar en caso de que propicien impactos adversos sobre el ambiente, no obstante la legislación actual si contempla leyes, reglamentos y normas ambientales que son aplicables para la prevención y control de la contaminación en los recursos naturales, suelo o ecosistemas y pueden ser aplicables al caso.



LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

El gobierno federal en su artículo 39 menciona que las autoridades competentes promoverán la incorporación de contenidos ecológicos en los diversos ciclos educativos, especialmente en el nivel básico, así como en la formación cultural de la niñez y la juventud. Asimismo, el artículo 41 indica que el gobierno federal, las entidades federativas y los municipios con arreglo a lo que dispongan las legislaturas locales, fomentarán investigaciones científicas y promoverán programas para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación, propiciar el aprovechamiento racional de los recursos y proteger los ecosistemas

- **La Ley en su capítulo IV** sobre prevención y control de la contaminación del suelo, en **su artículo 134** señala lo siguiente:

I Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

II Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de

contaminación de los suelos;

III Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

- **El artículo 138** señala que la Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para (fracciones I y II), la implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales, y la identificación de alternativas de **reutilización** y

ANEXO 1. NORMAS DE RECICLAJE.



- disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.
- **La Secretaría en su artículo 141** indica que se coordinará con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y Secretaría de Salud (SS) para expedir normas oficiales mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos. Asimismo, dichas Dependencias promoverán ante los organismos nacionales de normalización respectivos, la emisión de normas mexicanas en las materias a las que se refiere este precepto.
- **Finalmente el artículo 158**, fracción V establece que se impulsará el fortalecimiento de la conciencia ecológica, a través de la realización de acciones conjuntas con la comunidad para la preservación y mejoramiento del ambiente, el aprovechamiento racional de los recursos naturales y el correcto manejo de desechos. Para ello, la Secretaría podrá, en forma coordinada con los Estados y Municipios correspondientes, celebrar convenios de concertación con comunidades urbanas y rurales, así como con diversas organizaciones sociales.



LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE MÉXICO

- **La Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México, en su Capítulo II, artículo 6, fracción XII,** establece que el Ejecutivo Estatal regulará los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos que no estén considerados como peligrosos; estableciendo las normas y criterios a que se deben sujetar, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos.
- **El artículo 7, fracción IV** de las facultades de las autoridades municipales, indica que regularán la prevención y control de la transportación, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos domiciliarios e industriales que no estén considerados como peligrosos, observando las Normas Oficiales Mexicanas y las Normas Técnicas Estatales.

Dentro del apartado de educación y cultura ambiental, el artículo 9, menciona que el Ejecutivo Estatal promoverá ante las instituciones de enseñanza media y superior o de investigación científica y tecnológica, desarrollen planes y programas de educación ambiental, incorporando criterios y metas de desarrollo sustentable.

El capítulo IV sobre protección y control de la contaminación del suelo, en su artículo 98, fracción II indica que los residuos sólidos deben ser controlados desde su origen, reduciendo y previniendo su generación, así como su ubicando, sea de fuentes industriales, municipales o domésticas, por lo tanto, se deben incorporar técnicas y métodos para su **reuso y reciclaje**, así como su manejo y disposición final. Asimismo, en el artículo 99, fracción III, se menciona que se establecerán los métodos y parámetros que deberán



sugerirse para la prevención de la contaminación del suelo, así como en la expedición de permisos, autorizaciones y licencias en materia de manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos municipales y domésticos.

- **Para la prevención, restauración y control de la contaminación del suelo, el artículo 102**, señala que las autoridades estatales y municipales de la entidad deberán regular y vigilar la racionalización de la generación de residuos sólidos; la separación de los residuos sólidos para facilitar su **reuso y/o reciclaje**; los sistemas de manejo y disposición final de residuos sólidos en los centros de población.
- **El artículo 103 fracción III**, indica que “La Secretaría de Ecología promoverá en los municipios de la entidad la identificación de alternativas de **reutilización, reciclaje** y disposición final de residuos sólidos municipales y domésticos, incluyendo su inventario y la identificación de las fuentes generadoras”. Enfatizando, el artículo 105 menciona que “La Secretaría promoverá la implementación de programas de **reuso y reciclaje** de los residuos generados por la actividad material en todas las oficinas públicas de órganos del Gobierno del Estado”. El Capítulo V sobre generación, manejo, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje y disposición final de los residuos sólidos municipales, domésticos e industriales no peligrosos, señala en su artículo 107 sobre la facultad de los municipios de la entidad prestar, autorizar, licenciar o concesionar, de conformidad con las NOM y los criterios y normas técnicas ambientales estatales que se expidan al efecto, los siguientes servicios, en su fracción II, la instalación y operación de centros de acopio de residuos sólidos municipales y domésticos, orgánicos o inorgánicos, para su **reuso, tratamiento y reciclaje**.

La Ley señala, en su artículo 109, que los municipios podrán celebrar convenios o acuerdos de coordinación, colaboración y asesoría con la



intervención de “La Secretaría de Ecología o cualquier entidad pública de la entidad, así como con instituciones públicas y privadas de enseñanza superior para (fracción II) promover el uso y la fabricación de empaques y envases de toda clase de productos, cuyos materiales permitan minimizar la generación de residuos sólidos y faciliten su **reuso y reciclaje** y determinará la disposición final de residuos sólidos municipales y doméstico, incluyendo su inventario y la identificación de las fuentes generadoras”.

- **La Ley, en su artículo 110**, menciona que “La Secretaría de Ecología llevará en el sistema estatal de información ambiental y recursos naturales, un registro de almacenes, rellenos sanitarios, **centros de acopio**, transportistas, licenciarios o permisionarios, que en territorio de la entidad se relacionen con **residuos sólidos municipales, domésticos** e industriales no peligrosos, así como el de las fuentes generadoras”.... Finalmente, “El Gobierno Estatal (artículo 159) por conducto de la Secretaría y las demás dependencias públicas, deberá promover la participación corresponsable de la sociedad en la planeación, ejecución y evaluación de la política ambiental y de recursos naturales, la cual deberá fomentar, de forma fundamental, la protección al ambiente y el equilibrio de los ecosistemas. Para tal efecto, concertará acciones e inversiones con los sectores social y privado y con las instituciones académicas, grupos y organizaciones sociales y personas interesadas para la protección del ambiente, la preservación y restauración del equilibrio de los ecosistemas”.

LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL

- **La Ley Ambiental del Distrito Federal en su título IV** respecto de la prevención y control de la contaminación ambiental en su artículo 93 señala que en materia de residuos y en los términos de las normas oficiales las personas están obligadas a:

I Prevenir su generación;



II Minimizar la generación de los residuos que no puedan prevenirse;

III **Reciclar o reusar** los que se generen;

IV Tratarlos previamente a su disposición final, cuando no puedan **reciclarse o reusarse**, a fin de eliminar o minimizar su peligrosidad y volumen, y

V Disponer finalmente de los residuos tratados.

IV.4 NORMATIVIDAD

En lo que se refiere a normatividad la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) publicó una serie de normas donde especifica las técnicas recomendadas a seguir para la determinación de las características físico-químicas de los residuos municipales, asimismo, se anexa la actual simbología para la identificación de los materiales plásticos, Ver Anexo de Normas.

- NOM-AA-22-1985 "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Selección y Cuantificación de Subproductos"
- NOM-AA-16-1984 "Contaminación del Suelo –Residuos Sólidos Municipales Determinación de Humedad-"
- NOM-AA-33-1985 "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación del Poder Calorífico Superior"
- NMX-E-232-SCFI-1999. Industria del plástico - reciclado de plásticos - simbología para la identificación del material constitutivo de artículos de plástico - nomenclatura

Nota:

Las Normas Oficiales Mexicanas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto,

ANEXO 1. NORMAS DE RECICLAJE.



proceso, instalación, sistema, actividad, servicio, o método de producción u operación así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

- NOM Norma Oficial Mexicana
- AA Métodos de prueba de protección ambiental.
- NMX Norma Mexicana
- E Plásticos.

SCFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

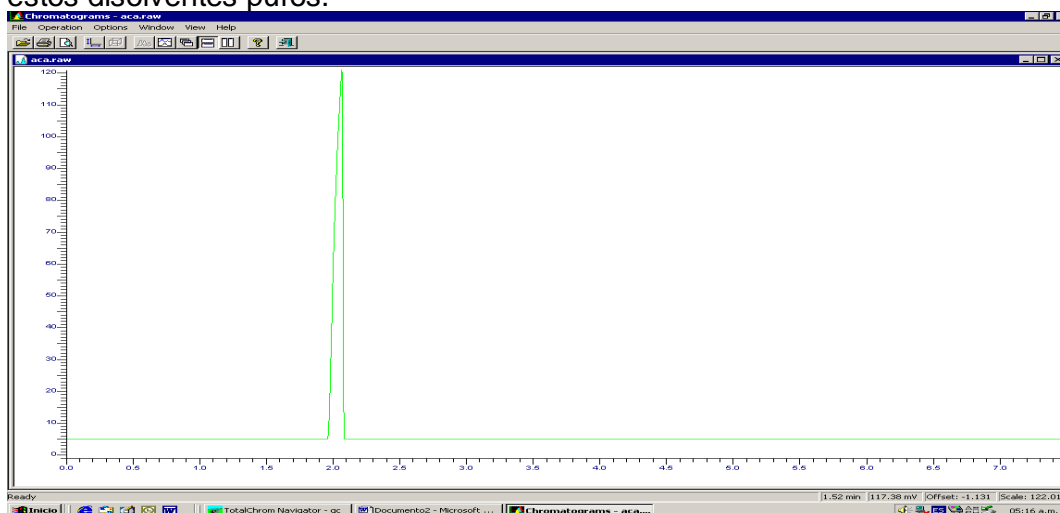
ANEXO 2

MUESTRAS CROMATOGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.

ANEXO 2. MUESTRAS COMATROGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.



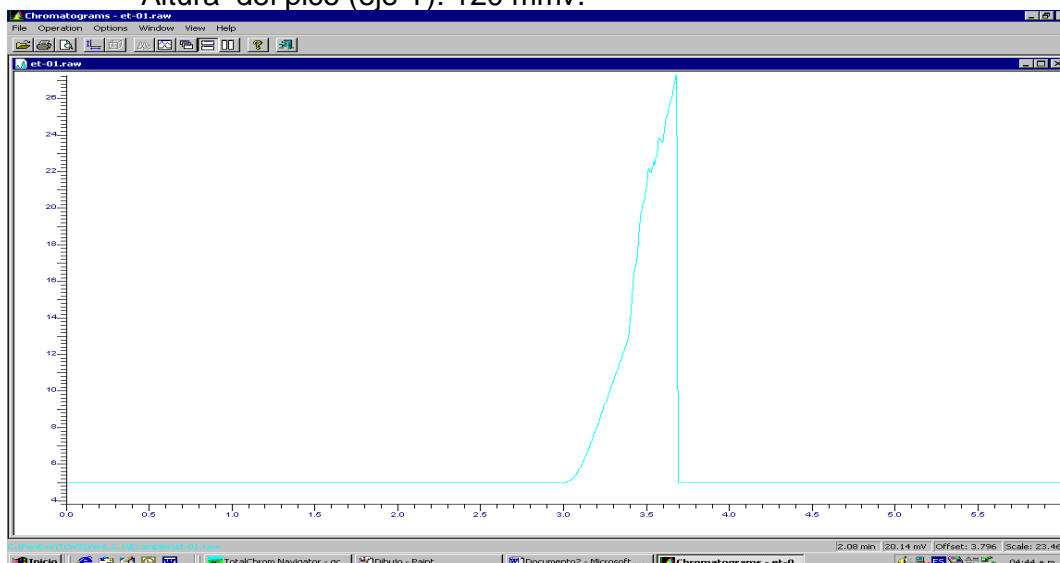
A continuación se exponen algunas muestras que se identificaron en un cromatógrafo de gases perkin-elmer, para determinar los componentes en mezcla de cada uno de los tambos que se encuentran almacenados en el laboratorio de desarrollo de procesos. Se identificaron, primeramente muestras de los disolventes puros, se determino tiempo de retención de cada uno de estos disolventes puros.



Muestra 1 disolvente puro: ACETONA.

Tiempo de retención (eje X): 1.95 a 2.1 min.

Altura del pico (eje Y): 120 mmv.

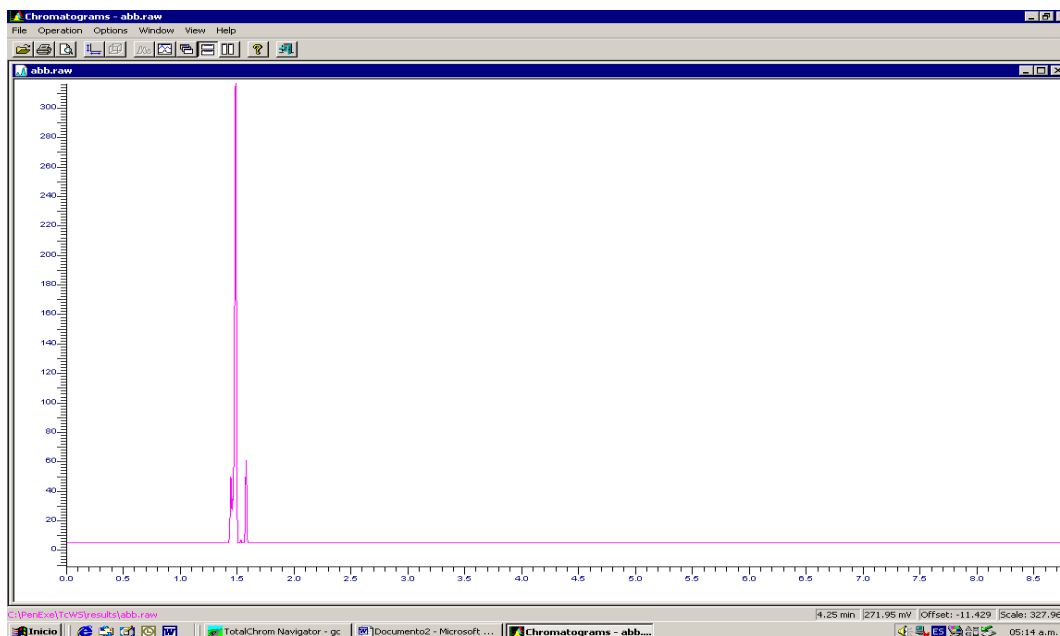


Muestra 2 disolvente puro: ETANOL.

Tiempo de retención (eje X) : 2.05 a 3.2 min.

Altura del pico (eje Y) : 26.5 mmv

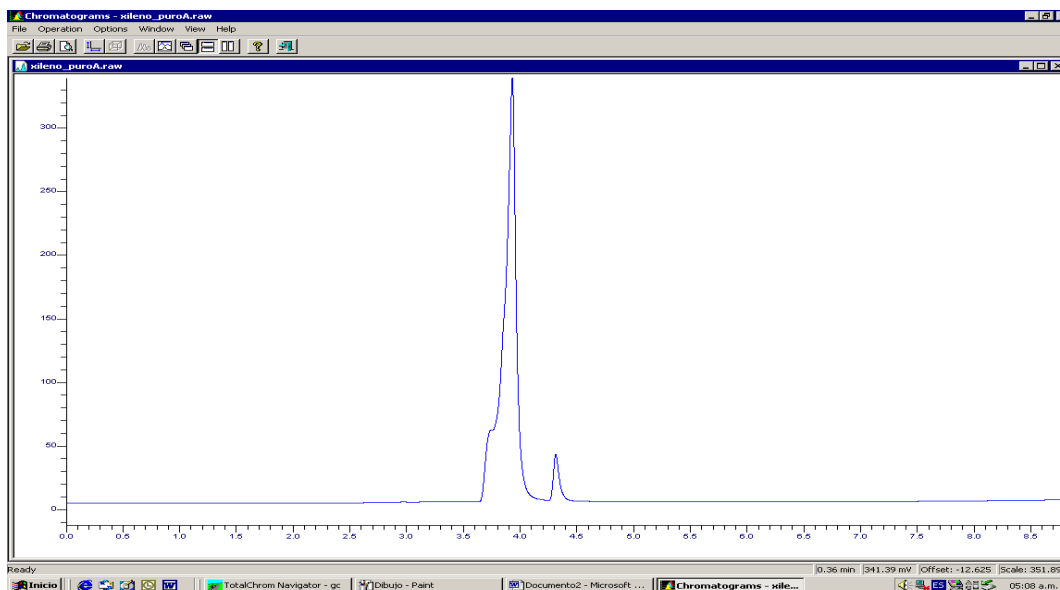
ANEXO 2. MUESTRAS COMATROGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.



Muestra 3 disolvente puro: HEXANO.

Tiempo de retención (eje X): 1.4 a 1.55min. y 1.6 a 1.65 min.

Altura de los picos (eje Y) : 50 mmv, 310 mmv, 65 mmv.

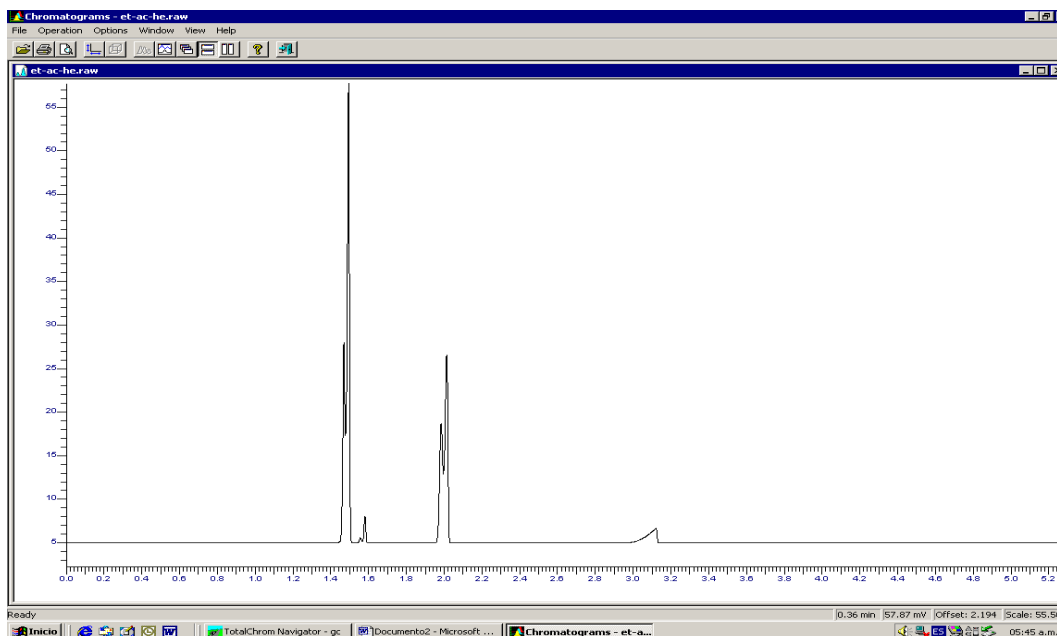


Muestra 4 disolvente puro: XILENO.

Tiempo de retención (eje X): 3.65 a 4.1 min. 4.25 min. a 4.4 min.

Altura de los picos (eje Y): 340 mmv, 37 mmv.

ANEXO 2. MUESTRAS COMATROGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.



Muestra 6 mezcla de disolventes puros: HEXANO ACETONA ETANOL.
Tiempo de retención (eje X): 1.42 a 1.55, 1.57 a 1.62 min (HEXANO)
Tiempo de retención (eje X): 1.98 a 2.03 min (ACETONA)
Tiempo de retención (eje X): 3.0 a 3.15 min (ETANOL)
Altura de los picos (eje Y): 120 mmv, 9 mmv (HEXANO)
Altura de los picos (eje Y): 20.5 mmv, 29.5 mmv (ACETONA)
Altura de los picos (eje Y): 7 mmv (ETANOL)

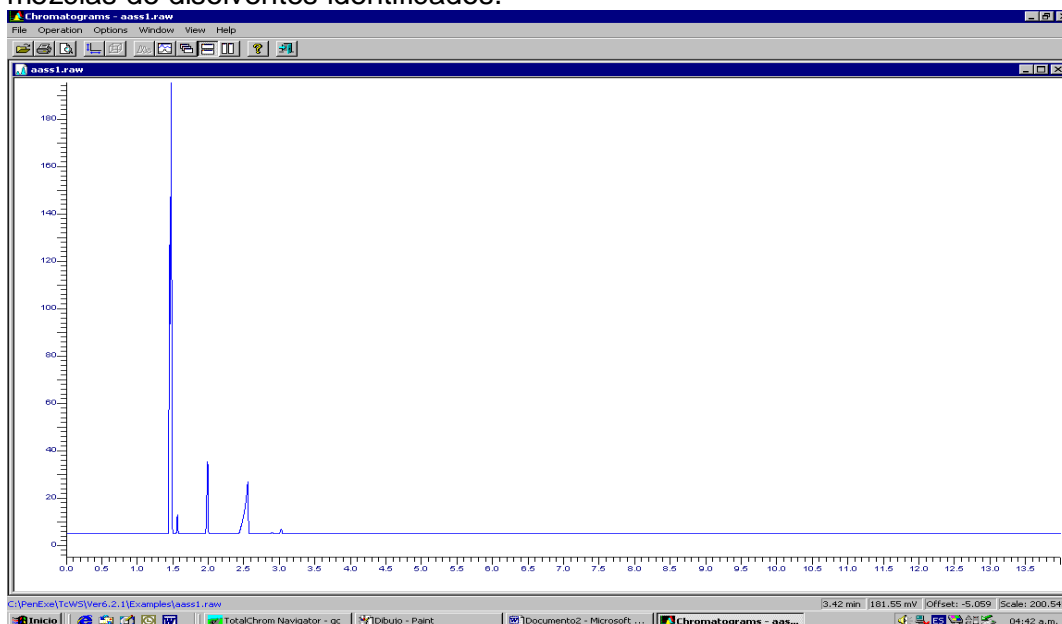
Notas: 1) cada uno de los disolventes puros identificados son de grado reactivo, con pureza de 98%.

- 2) el cromatógrafo cuenta con dos detectores los cuales son: detector de conductividad térmica (TCD) y detector de flama (FID), se identificaron todas las muestras a través del detector de flama.
- 3) La mezcla de disolventes se realizó con 0.5 ml de cada componente.
- 4) El tiempo de retención se lee en el eje X en minutos.
- 5) La altura de cada pico relacionada con el eje Y se lee en milivolts.

ANEXO 2. MUESTRAS COMATROGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.



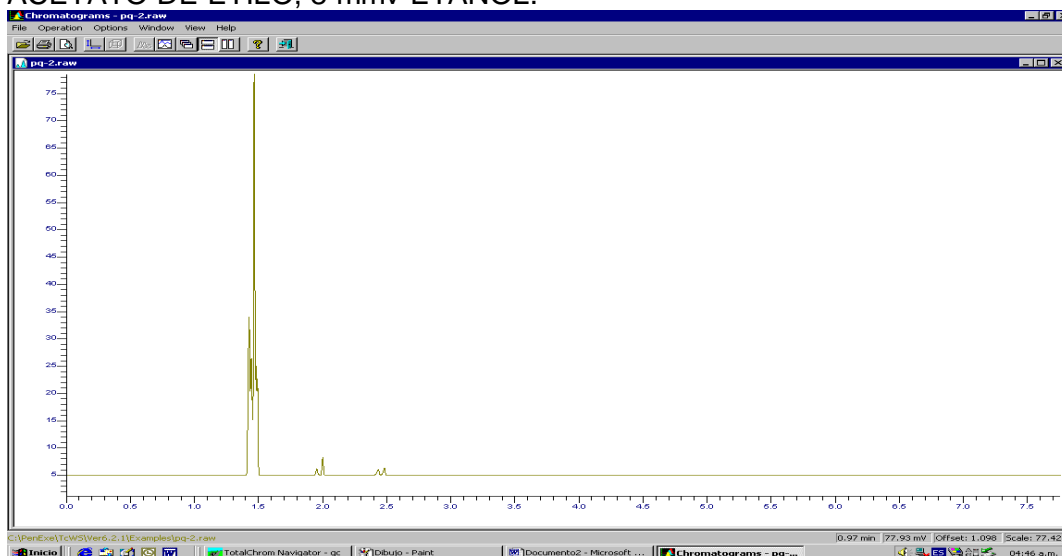
Ahora, se expondrán los resultados obtenidos de algunos de los tambo con mezclas de disolventes identificados.



Tambo 1: tambo con 4 disolventes en mezcla.

Tiempos de retención (eje X): 1.5 min HEXANO, 2.0min ACETONA, 2.5min ACETATO DE ETILO, 3.0 min ETANOL.

Altura de los picos: 195 mmv, 10 mmv HEXANO, 40 mmv ACETONA, 30 mmv ACETATO DE ETILO, 8 mmv ETANOL.

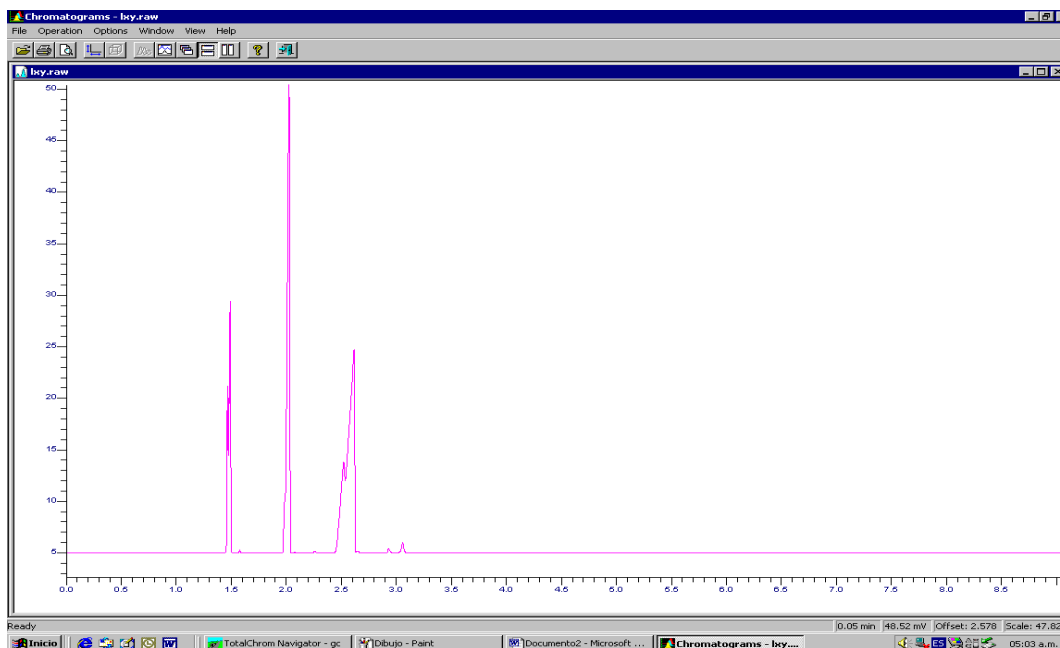


Tambo 2: tambo con 3 disolventes en mezcla.

Tiempos de retención (eje X): 1.4 a 1.55 min HEXANO. 1.9 a 2.05 min ACETONA, 2.5 ACETATO DE ETILO.

Altura de los picos (eje Y) 34 mmv, 120 mmv HEXANO, 10 mmv ACETONA, 6.5mmv ACETATO DE ETILO.

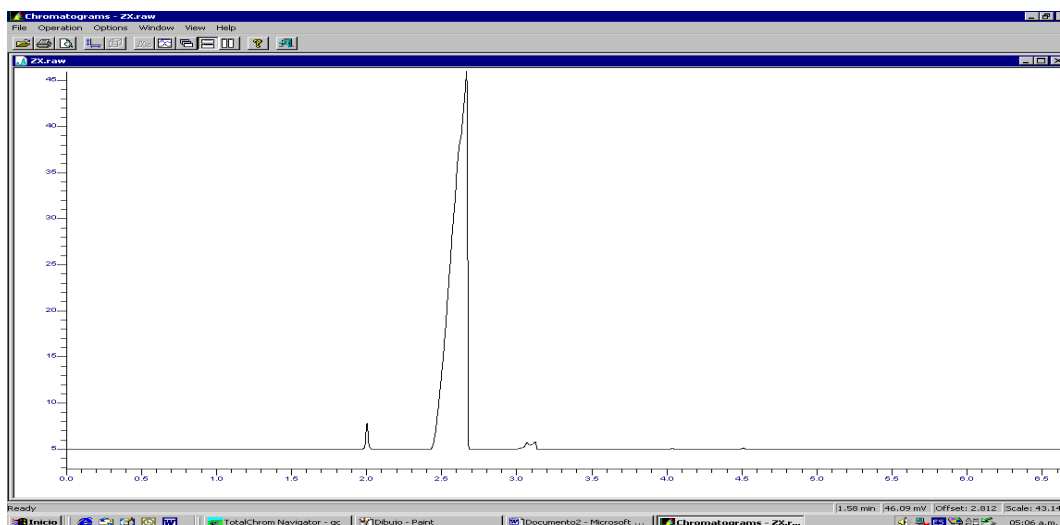
ANEXO 2. MUESTRAS COMATROGRAFICAS DE DISOLVENTES Y MEZCLAS DE DISOLVENTES.



Tambo 3: tambo con 4 disolventes en mezcla.

Tiempo de retención (eje X): 1,4 a 1.55 min HEXANO, 1.9 a 2.01 min ACETONA, 2.45 a 2.65 min ACETATO DE ETILO, 2.99 a 3.05 min ETANOL.

Altura de los picos (eje Y): 30.5 mmv HEXANO, 70 mmv ACETONA, 27 mmv ACETATO DE ETILO, 6.5 mmv ETANOL.



Tambo 4: tambo con 3 disolventes en disolución.

Tiempo de retención (eje X): 1.99 a 2.05 min ACETONA,