

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TITULO DEL PROYECTO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESGASIFICADOR
AL VACÍO PARA LA EXTRUSORA DE PET POST
CONSUMO DEL LMM.”**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

REALIZADO POR:

SR. JHONNY RICARDO CUENCA VALENCIA.

SR. JEAN PIERRE FIGUEROA BRAZZINI.

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRIO

Sangolquí, 2010-04-23

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESGASIFICADOR AL VACÍO PARA LA EXTRUSORA DE PET POST CONSUMO DEL LMM.” fue realizado en su totalidad por los señores Jhonny Ricardo Cuenca Valencia y Jean Pierre Figueroa Brazzini, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez
DIRECTOR

Ing. Patricio Riofrío
CODIRECTOR

Sangolquí, 2010-04-23.

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESGASIFICADOR AL VACÍO PARA LA EXTRUSORA DE PET POST CONSUMO DEL LMM.”

ELABORADO POR:

Sr. Jhonny R. Cuenca V.

Sr. Jean P. Figueroa B.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

Sangolquí, 2010-04-23.

DEDICATORIA.

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome la fuerza necesaria para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me han presentado.

Dedico la presente tesis a los seres que más amo en este mundo: mis padres José y Elisa, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.

A mis hermanos Fernando y Wendy ya que con ellos prácticamente hemos vivido las mismas historias, los mismos pesares y las mismas alegrías.

Jhonny Ricardo Cuenca Valencia.

DEDICATORIA.

El presente proyecto está dedicado a mis padres. A mi madre que fue el pilar que permitió que mi fe no se derrumbe nunca, que me apoyó siempre y me supo aconsejar y confiar en mí a pesar de todas las veces que fallé en lo que va de mi vida. A mi padre quien me brindó su apoyo constante y que a pesar de lo difícil de nuestra situación económica se preocupó siempre porque nunca me falte nada.

A mis tíos Gonzalo Brazzini y Antonio Brazzini que me apoyaron en mi periodo de formación y siempre quisieron verme realizado como profesional.

A mi abuelo Manuel Figueroa quien en vida fue el que me incentivó a seguir una carrera universitaria.

Jean Pierre Figueroa Brazzini.

AGRADECIMIENTO.

A todos los maestros de la Escuela Politécnica del Ejército en especial a los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Mecánica, que me asesoraron, porque cada uno, con sus valiosas aportaciones me han ayudado a crecer como persona y como profesional.

A mis compañeros de universidad por la gran calidad humana que me han demostrado con una aptitud de respeto.

A mis tíos, por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Jhonny Ricardo Cuenca Valencia.

AGRADECIMIENTO.

A mis padres por su constante apoyo tanto espiritual como económico y por estar siempre pendientes de lo que me ocurre y necesito a pesar de la distancia que nos separa.

A los docentes de la Escuela Politécnica del Ejercito que formaron parte de mi formación.

Al Ing. Carlos Naranjo que más que un maestro se comporto como un amigo que estuvo siempre dispuesto a llamarme la atención y se preocupó por lo que me pasaba cuando mi rendimiento no era el apropiado.

A las familias Freire Rodríguez y Ordoñez Romero quienes me acogieron en su casa y me hicieron sentir como un miembro más de la familia.

A los Ingenieros José Pérez y Patricio Riofrío por el aporte de sus conocimientos y el tiempo que dedicaron en la elaboración de este proyecto, sin ellos esto no hubiese sido posible.

A un gran amigo, Christian Basantes, a quien tuve la oportunidad de conocer en esta etapa de mi vida como es la universitaria y con quien he compartido muchos problemas tanto académicos como personales y ha sabido aconsejarme y estar siempre dispuesto a prestarme su ayuda.

A mis tíos, Ricarda Figueroa, Manuel Figueroa y Jorge Figueroa quienes fueron como mis padres y nunca me negaron su ayuda.

Jean Pierre Figueroa Brazzini.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE DE CONTENIDOS.....	viii
TABLAS.....	xiv
FIGURAS.....	xvi
NOMENCLATURA.....	xix
ANEXOS.....	xxii
RESUMEN.....	xxiii
CAPITULO 1.....	24
1.1 ANTECEDENTES.....	24
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	25
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	26
1.5 ALCANCE.....	27

CAPITULO 2	28
2.1 MARCO TEÓRICO.....	28
2.1.1 EL RECICLADO DEL PET.....	28
2.1.1.1 Clasificación del PET	29
2.1.1.2 Los procedimientos del reciclado.	32
2.1.1.3 Condiciones óptimas para el reciclaje	48
2.1.1.4 Contaminación del reciclado	49
2.1.1.5 Degradación de polímeros	51
2.1.1.6 Aplicaciones del Pet reciclado.....	54
2.1.1.7 Impacto ambiental debido a los desechos plásticos.....	58
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	61
2.2.1 BOMBAS DE VACÍO.....	61
2.2.2 LA NECESIDAD DE HACER VACÍO.	64
2.2.3 PARÁMETROS Y CLASIFICACIONES DE LAS BOMBAS DE VACÍO..	66
2.2.4 LAS CÁMARAS, SELLOS Y VÁLVULAS PARA VACÍO	69
2.2.5 LA IMPORTANCIA Y APLICACIONES DEL VACÍO	73
2.2.6 LOS MATERIALES AL VACÍO	81
2.2.7 FUGAS EN EL VACÍO.....	85
2.2.8 GASES QUE EMANAN LOS POLÍMEROS.....	87
2.2.9 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DEL RECICLADO DE PET.	87

2.2.10	APLICACIONES INDUSTRIALES DEL RECICLADO DE PET.	88
2.2.11	REQUISITOS ÓPTIMOS PARA EL PROCESO DE RECICLADO DE PET.	90
2.2.11.1	Humedad.....	91
2.2.11.2	Control de contaminación.....	92
2.2.11.3	Soluciones de contaminación.....	94
2.3	MARCO CONTEXTUAL.....	95
2.3.1	EXTRUSIÓN DEL PET.....	95
2.3.2	DIFICULTADES	97
2.3.3	SOLUCIONES.....	98
CAPITULO 3		100
3.1	RESTRICCIONES DE DISEÑO.	100
3.2	ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN.....	101
3.3	MATRIZ DE SELECCIÓN.	102
3.4	VARIABLES DE DISEÑO.....	104
3.5	CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	105
CAPITULO 4		106
4.1	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	106
4.2	MECÁNICO Y ESTRUCTURAL	106
4.2.1	DISEÑO MECÁNICO DEL TANQUE DE VACÍO.	106
4.2.2	CAUDAL VOLUMÉTRICO.....	115

4.2.3	FUERZA DE SUCCIÓN.....	116
4.2.4	ANÁLISIS DE ESFUERZOS MEDIANTE SOFTWARE EN EL TANQUE DE VACÍO.	117
CAPITULO 5		120
5.1	DIAGRAMA DE PROCESOS	120
5.2	PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.....	127
5.3	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.	127
5.3.1	EQUIPOS.....	127
5.3.1.1	Equipo de Soldadura Smaw	127
5.3.1.2	Equipo de Soldadura Oxiacetilénica.....	128
5.3.1.3	Equipo de Seguridad industrial.....	129
5.3.2	HERRAMIENTAS.....	130
5.4	MANO DE OBRA	130
CAPITULO 6		132
6.1	PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.	132
6.1.1	PROCEDIMIENTO	132
6.1.2	DATOS INICIALES DE PRESIÓN.....	134
6.1.3	ESTUDIO COMPARATIVO.....	135
6.1.4	FALLAS COMUNES.....	136
6.1.5	SOLUCIONES.....	137
6.2	PRUEBAS DE LABORATORIO.	137

6.2.1	PROCEDIMIENTO.....	137
	ENSAYO DE TRACCIÓN.....	139
6.2.2	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	144
	ENSAYOS A TRACCIÓN PET RECICLADO (SIN DESGASIFICAR).....	149
	Diagramas obtenidos en el ensayo.....	149
	ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO.....	151
	Diagramas obtenidos en el ensayo.....	151
	ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO Y SECADO.....	153
	Diagramas obtenidos en el ensayo.....	153
	ENSAYOS A TRACCIÓN PET VIRGEN (SIN DESGASIFICAR).....	156
	Diagramas obtenidos en el ensayo.....	156
	ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO Y SECADO.....	158
	Diagramas obtenidos en el ensayo.....	158
6.2.3	ANÁLISIS DE DATOS.....	161
	CAPITULO 7.....	170
	ANALISIS FINANCIERO ECONOMICO.....	170
7.1	COSTOS DIRECTOS.....	170
7.2	COSTOS INDIRECTOS.....	172
7.3	FINANCIAMIENTO.....	173

CAPITULO 8	174
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
8.1 CONCLUSIONES:.....	174
8.2 RECOMENDACIONES:	175

TABLAS

Tabla 2.1: Características del PET virgen.....	33
Tabla 2.2: Poder calórico del PET.	54
Tabla 2.3: Historia de las bombas de vacío	65
Tabla 2.4: Aplicaciones de las técnicas de vacío.....	74
Tabla 3.1: Matriz de análisis de valor.....	102
Tabla 3.2: Matriz de decisión	103
Tabla 6.1: Datos obtenidos de probetas de RPET normal.....	144
Tabla 6.2: Resultados obtenido de él ensayo a tracción RPET normal.	144
Tabla 6.3: Datos obtenidos de probetas de RPET Desgasificado.	145
Tabla 6.4: Resultados obtenido del ensayo a tracción RPET Desgasificado	145
Tabla 6.5: Datos obtenidos de probetas de RPET Seco y Desgasificado....	146
Tabla 6.6: Resultados obtenido del ensayo a tracción RPET Seco y Desgasificado.....	146
Tabla 6.7: Datos obtenidos de probetas de PET virgen normal.....	147
Tabla 6.8: Resultados obtenido de él ensayo a tracción PET virgen normal	147
Tabla 6.9: Datos obtenidos de probetas de PET virgen desgasificado.	148
Tabla 6.10: Resultados obtenido de él ensayo a tracción PET virgen desgasificado.	148
Tabla 7.1: Remuneración a profesionales.....	170

Tabla 7.2: Remuneración a estudiantes.....	170
Tabla 7.3: Materia Prima.....	171
Tabla 7.4: Otros costos directos.	171
Tabla 7.5: Insumos	172
Tabla. 7.6: Accesorio y supervisión.	172
Tabla 7.8: Materiales.....	172
Tabla 7.9: Financiamiento.....	173

FIGURAS

Figura 2.1	Identificación del plástico PET según la SPI	33
Figura 2.2	Compactadora.	34
Figura 2.3	Fardos.....	35
Figura 2.4	Cinta de transportación para.....	35
Figura 2.5	Tambores con paletas.....	36
Figura 2.6	Esquema y forma de un molino	37
Figura 2.7	Tratamiento de aguas residuales.....	38
Figura 2.8	Secador centrífugo.....	39
Figura 2.9	Línea de secado centrífugo.....	39
Figura 2.10	Extrusoras de PET	40
Figura 2.11	Máquina para monofilamento.....	41
Figura 2.12	Proceso de metanólisis	42
Figura 2.13	Diagrama de bloque de la metanólisis	44
Figura 2.14	Diagrama de bloques de la hidrólisis ácida.....	45
Figura 2.15	Diagrama de bloques de la glicólisis	47
Figura 2.16	Impacto ambiental.....	58
Figura 2.17	Ave afectada por contaminación plástica.....	59
Figura 2.18	Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío.	66

Figura 2.19	Rasgos de presión para bomba de vacío.....	67
Figura 2.20	Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción.	68
Figura 2.21	Tipo más común de cámara de metal.....	69
Figura 2.22	Bridas.....	70
Figura 2.23	Sellos de anillo.....	71
Figura 2.24	Válvulas de vidrio.....	72
Figura 2.25	Válvulas de metal.....	73
Figura 2.26	Envase al vacío.....	77
Figura 2.27	Ultracentrífuga de tipo vacío.	80
Figura 2.28	Esquema de procesos elementales durante	81
Figura 2.29	Aplicaciones del reciclado de PET.....	89
Figura 2.30	Esquema del proceso utilizando la tecnología Vacurema.....	90
Figura 2.31	Proceso recomendado para el reciclaje del PET.	91
Figura 2.32	Tapa, arillo y empaque.....	92
Figura 2.33	Diseño genérico de un extrusor.	95
Figura 3.1	Sistema cilíndrico de Calefacción – Tornillos.....	100
Figura 3.2	Sección de desgasificación.....	101
Figura 4.1	Curva característica de la bomba de vacío.....	115
Figura 5.1	Equipo de soldadura.	127
Figura 5.2	Equipo de corte.....	128

Figura 5.3	Equipo de seguridad industrial.....	129
Figura 6.1	Controles digitales de temperatura.	132
Figura 6.2	Variador de frecuencias	133
Figura 6.3	Tapa de alimentación.....	133
Figura 6.4	Bomba de vacío y válvula de regulación respectivamente.....	134
Figura 6.5	Obtención de probetas.....	138
Figura 6.6	Fibra sin ningún proceso.....	138
Figura 6.7	Fibra con proceso de desgasificado	139
Figura 6.8	Fibra con proceso de desgasificación y secado.....	139
Figura 6.9	Máquina de ensayos AMSLER	140
Figura 6.10	Regla de escalas.	141
Figura 6.11	Mordazas de sujeción.	141
Figura 6.12	Máquina sin encerar.....	142
Figura 6.13	Rodillo para gráficas.	142
Figura 6.14	Palanca de encendido.....	143
Figura 6.15	Muestra de gráfica obtenida.....	143
Figura 6.16	Flexión máxima del PET sin desgasificar.....	167
Figura 6.17	Flexión máxima del PET desgasificado.	168

NOMENCLATURA

P: Presión de diseño para el cuerpo del tanque.

S: Esfuerzo del material.

E: Eficiencia de la junta soldada.

Re: Radio exterior del tanque de vacío.

t: Espesor de pared del tanque de vacío.

CA: Corrosión admisible.

L: Radio de bombeo.

r: Radio de rebordeo.

Pc: Presión de diseño para las tapas toriesféricas.

tr: Espesor calculado de la pared del recipiente.

tn: Espesor nominal de la boca.

trn: Espesor requerido en la pared de la boca.

tt: Espesor de la pared del tanque corroído.

d: Diámetro interno de la boca en condición corroída.

di: Diámetro interno de la boca.

y: Limite del esfuerzo.

CA_t: Corrosión admisible en la boca.

h: Altura del cordón de soldadura.

A: Área total transversal.

A1, a1: Exceso de espesor en la pared del recipiente.

A2, a2: Exceso de espesor en la proyección externa de la boca.

A3, a3: Exceso de espesor en la proyección interna de la boca.

A4: Área disponible en las soldaduras.

AT: Sumatoria de las áreas.

hm: Entalpía del RPET.

u: Energía interna del RPET.

δp : Densidad del RPET.

Pp: Presión en el tornillo necesaria para que el RPET cambie de estado.

Pt: Presión en el tanque de vacío.

Vp: Volumen entre el cilindro y el tornillo.

Vt: Volumen del tanque.

Vtp: Volumen de la tapa toriesférica.

Vct: Volumen del cuerpo del tanque.

Tp: Temperatura en el tornillo.

Tt: Temperatura en el tanque de vacío.

D1: Diámetro interior del cilindro.

D: Diámetro exterior del tornillo.

Lp: Longitud del tornillo.

Lt: Longitud del cuerpo del tanque.

ht: Altura de la tapa toriesférica.

Ps: Presión de succión.

Lf: Longitud mayor promedio de la escama de PET.

Af: Longitud menor promedio de la escala de PET.

ef: Espesor promedio de la escama de PET.

Ap: Área mayor promedio de la escama de PET.

Vfp: Volumen promedio de la escama de PET.

mp: Masa promedio de la escama de PET.

Ftp: Peso promedio de la escama de PET.

Fs: Fuerza de succión ejercida por la bomba de vacío.

ANEXOS

ANEXO A: Planos.....	177
ANEXO B: Tablas.....	186
FUNCIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA.....	186
DESCRIPCIÓN DEL DESGASIFICADOR	187
ANEXO C: Fotos.....	188
Manufactura de bridas	188
Manufactura de tanque	189
Soldadura.....	190
Manufactura del soporte	191
Reciclaje plástico PET	192
Partes del desgasificador al vacío.....	193
ANEXO D: Fichas Técnicas.....	194
Ficha técnica de la bomba de vacío.....	194
Ficha técnica del vacuómetro.....	195

RESUMEN

En el proceso de extrusión del PET éste suele perder propiedades mecánicas que lo hacen pocas veces reutilizable, una de éstas propiedades es la ductilidad.

El presente proyecto maneja la hipótesis de que la pérdida de la ductilidad durante la extrusión se debe principalmente a la contaminación del material, PET, debido a la presencia de gases volátiles y vapor de agua que emanan del propio polímero cuando éste empieza a fundirse.

La solución propuesta para la extrusora del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica de Ejército es la desgasificación durante el proceso de extrusión sin realizar modificaciones en el diseño original de la extrusora por lo que dicha desgasificación se va a llevar a cabo creando un tanque de vacío que será colocado al inicio del tornillo de extrusión con la finalidad de absorber los gases volátiles y el vapor que aparezcan.

Para cuantificar las mejoras en el PET luego de extruido, aplicando el desgasificado y después sin desgasificar, se obtienen probetas circulares que son sometidas luego a un ensayo de tracción horizontal, tomando en cuenta las condiciones de humedad y temperatura del lugar donde se van a obtener dichas probetas y se van a realizar los ensayos que es este caso será el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejercito, el cual está ubicado en la Provincia de Pichincha en el Cantón Sangolqui.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES.

La necesidad de reciclar materiales termoplásticos como el PET, cuyo uso ha venido en aumento en los últimos 30 años, lleva a utilizar métodos de procesado para reutilizarlo como la extrusión.

Existen algunos problemas en el producto final obtenido, uno de estos problemas es la fragilidad de este que se debe a diversos tipos de contaminación como es la humedad y la presencia de gases volátiles al producirse el calentamiento en la extrusión del PET.

Aunque algunos fabricantes de maquinaria y transformadores de PET sostengan que se puede procesar este material sin secado, se ha constatado en la práctica que es necesario una humedad residual menor de 0.1%, mejor aún una humedad debajo de 100 ppm.

El laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército, dispone de una máquina de molienda para plásticos, que permite que se realice una parte del proceso de reciclado.

En una fase inicial se realizó el proceso de reciclado del PET en una máquina extrusora de tornillo simple con sistema de accesorios complementarios en la cual se pueden variar, la velocidad de giro del tornillo, el flujo del material fundido y la temperatura del cilindro para así obtener un producto con mejores características mecánicas.

Uno de los problemas en el reciclaje de PET es la generación de vapor de agua y gases volátiles en su procesamiento que contaminan a dicho material y lo

perjudican haciéndolo perder una de sus propiedades mecánicas más importantes que es la ductilidad.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Debido a que el plástico PET no es un material totalmente biodegradable, se busca la implementación de un sistema innovador para reducir las emisiones de gases que se producen durante su extrusión.

Sin embargo el reciclaje del PET se constituye en la materia prima para dar paso a la elaboración de varios productos como las alfombras, envases para producto alimenticio etc.

Pero se requiere que el PET reciclado posea buenas propiedades mecánicas ya que por el momento no se ha conseguido con la extrusora que se encuentra en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la ESPE.

Lo que se espera conseguir en el transcurso del presente proyecto es implementar un sistema para la extracción de gases volátiles y vapor de agua producidos durante la extrusión de este plástico para así mejorar sus propiedades mecánicas.

1.3 OBJETIVO GENERAL.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESGASIFICADOR AL VACÍO PARA LA EXTRUSORA DE PET POST CONSUMO DEL LMM.

Objetivos específicos

- Reducir la contaminación del reciclado de PET producida por el vapor de agua y gases volátiles que aparecen durante su extrusión.
- Mejorar la ductilidad del reciclado de PET obtenido luego del proceso de extrusión.
- Garantizar la calidad del reciclado de PET obtenido luego del proceso de extrusión.

- Determinar el grado de incidencia de la humedad y gases volátiles en la calidad del PET reciclado obtenido luego del proceso de extrusión.
- Cuantificar, en función de la ductilidad del reciclado de PET obtenido luego de la extrusión, la importancia de la inclusión del sistema de absorción de gases durante el proceso de extrusión del reciclado de PET.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

El PET es uno de los polímeros más utilizados en las diferentes industrias, especialmente en la alimenticia por la capacidad que tiene de conservar el sabor de las bebidas y los alimentos, lo que ha provocado que tenga gran demanda, por ello el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército, cuenta con el equipo necesario para ejecutar la primera etapa del proceso de reciclaje del PET el cual consiste básicamente en colocar 500 gramos de material (PET) molido en un horno mufla del Laboratorio de Ciencia de los Materiales , a una temperatura de 180 centígrados de forma manual, obteniendo así un material reciclado del tipo frágil con un bajo alargamiento porcentual y baja resistencia a la tracción que luego será extruido.

Es necesario recalcar que la etapa más importante del proceso es justamente la de extrusión del material puesto que en ésta se deben controlar diferentes variables como el flujo de material fundido y el secado.

Por esta razón se busca desarrollar un nuevo proceso como un sistema de vacío que permita absorber el vapor de agua y gases volátiles que se producen al reciclar el PET, estos dos grandes problemas son perjudiciales en lo que tiene que ver a sus propiedades mecánicas de dicho material reciclado como es la ductilidad.

El PET se caracteriza por su ligereza, resistencia mecánica y por ser 100% reciclable. El PET reciclado tiene muchas aplicaciones como la construcción de fibra textil, alfombras, perfiles, tuberías, piezas inyectadas, etc.

1.5 ALCANCE.

Construir un sistema de desgasificación apropiado, para así poder reducir la contaminación del reciclado PET producido por los gases volátiles que éste plástico emana durante su extrusión, mejorando así su ductilidad.

CAPITULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 EL RECICLADO DEL PET.

El consumo responsable es uno de los aspectos trascendentes que contribuyen en gran medida al paradigma del Desarrollo Sustentable.

Para que exista una tendencia global hacia el modelo propuesto de Desarrollo Sustentable, es indispensable que en el mismo participe toda la cadena producción-consumo.

Lo cual abarca desde la extracción de las materias primas, los procesos intermedios, la máxima incorporación posible de materiales reciclados en el producto final, la minimización de residuos industriales y domiciliarios.

En otros términos cuantos menos residuos se generen más eficiente será el aprovechamiento de la materia y energía, en consecuencia más perdurables los recursos del planeta y el equilibrio ambiental. Este es el fundamento de la llamada Estrategia de las "RRR" que simbolizan las palabras Reducir, Reutilizar y Reciclar.

En la década pasada, comenzó a utilizarse masivamente una nueva resina plástica, el PET. La ausencia de cementantes y una de sus propiedades más distintivas como es la barrera de gases, le confirió gran difusión como envase de bebidas gaseosas, sifones y posteriormente otros productos como aceites, mayonesas, cosméticos, etc. Pero no sólo estas propiedades influyeron en esta elección de los industriales y el público consumidor.

Su escaso peso en relación al del producto adquirido, aproximadamente 50 veces menos que el líquido contenido y fundamentalmente la seguridad de los usuarios, ante una eventual rotura, fueron factores determinantes para la generalización de sus uso.

Desde el punto de vista ambiental, es la resina que presenta mayores aptitudes para el reciclado, ostentando el número 1 rodeado de tres flechas formando un triángulo, en el fondo del envase.

El principal destino de esta materia prima post-consumo es la fabricación de fibras textiles, utilizándose en la confección de alfombras, cuerdas, cepillos y escobas, sunchos, telas para prendas de vestir como el "polar", calzados, camisetas, etc.

El PET reciclado no se destina a nuevos envases para bebidas o alimentos en contacto permanente.

Otras ventajas ambientales de esta resina, es la reducción drástica de la energía utilizada en el transporte, la simpleza de procedimientos y las relativamente bajas temperaturas ($250\text{ }^{\circ}\text{C} > \text{PET} < 300^{\circ}\text{C}$) a las cuales debe ser sometido el PET para ser transformado en nuevos productos, estos también reciclables.

2.1.1.1 Clasificación del PET

De acuerdo con su importancia y uso, el PET es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principales. Acido Terftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetilterefalato en lugar de Acido Terftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino.

El Polietileno Tereftalato en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia, resistencia química; razón por la cual esta resina es aceptada por la Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos (FDA).

Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y características de cristalinidad.

Los que presentan menor peso molecular se denominan **grado fibra**.

Los de peso molecular medio, **grado película**.

Los de mayor peso molecular, **grado botella**.

Pet grado fibra.

La primera aplicación industrial del PET fue la textil, durante la Segunda Guerra Mundial, para reemplazare a fibras naturales como el algodón o el lino.

A diferencia de otras fibras sintéticas, al poliéster nombre común con el que se denomina al PET grado textil, se le reconocieron desde el primer momento unas excelentes cualidades para el proceso textil, entre las que cabe destacar su altísima resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además de otras propiedades como el fácil cuidado de la prenda tejida como por ejemplo lavado y secado rápidos sin necesidad del planchado.

Ya sea como filamento continuo o como fibra cortada, el PET encabeza a los polímetros textiles.

Se emplea para la producción de fibras de confección en donde es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón, como también es para rellenos de edredones o almohadas.

Pet grado botella.

La primera comercialización del PET grado botella, se llevo a cabo en los EEUU, produciéndose en Europa a partir de 1974.

Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda aumentando 3.8 anualmente dentro de esta industria.

Debido a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de

fabricación y comodidad en su manejo lo cual conlleva a un beneficio añadido al consumidor.

Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector.

Sus aplicaciones cada vez son más amplias, abarcando nuevos campos y se desarrollan botellas PET de alta calidad y reducido peso. Entre las aplicaciones más importantes encontramos para las industrias de envase y empaque, las empresas fabricantes de maquinaria han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de esta tecnología de manera rápida; por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente. También se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros. Los recipientes de boca ancha son utilizados para el envase de conservas alimenticias.

Su más reciente y exitosa aplicación ha sido en el envasado de aguas minerales, habiendo copado prácticamente el mercado del PVC.

También se ha usado el PET para el envasado de productos farmacéuticos, droguería, alimenticios, como salsas, mermeladas etc.

Su próximo reto es el envasado de leche y sobre todo de cerveza.

A partir de bebidas lácteas mixtas, mezcladas con zumo de frutas, con vitaminas o con otro tipo de aditivos, se crean nuevas bebidas y para llamar la atención del consumidor, se elige generalmente el PET como material de envase. Las razones son muy claras: el PET ofrece mejores propiedades de barrera que otros plásticos, además de ser transparente como el vidrio, permite la producción de envases brillantes.

Pet grado film

El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film como en películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET.

2.1.1.2 Los procedimientos del reciclado.

Teniendo en cuenta que la basura es un residuo colocado en un lugar equivocado, el comienzo del reciclado es la separación en origen y la recolección diferenciada en el ámbito municipal.

Dada la responsabilidad que le cabe a los municipios de dar disposición final a los residuos urbanos.

Las técnicas de reciclado de esta materia prima post-consumo son fundamentalmente dos:

- Reciclado mecánico.
- Reciclado químico.

Reciclado mecánico

Es la técnica más utilizada en la actualidad, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases.

Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

Propiedades del PET reciclado mecánicamente

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

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

Tabla 2.1: Características del PET virgen.

Propiedades	PET virgen
Módulo de Young [MPa]	1890
Resistencia a la rotura [MPa]	47
Elongación a la rotura [%]	3,2
Resistencia al impacto [J m^{-1}]	12
IV (dl g^{-1})	0.72 – 0.84
Temperatura de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	244 - 254
Peso molecular (g mol^{-1})	81600

Fuente: www.Petpower.aspx

Procedimiento para el reciclaje mecánico de envases PET.

El proceso de reciclaje mecánico es fundamentalmente el mismo para los distintos plásticos.

La clasificación se refiere a una macro selección manual de componentes según lo especificado por la SPI (Sociedad de la Industria del Plástico).



Nombre	Unidad monomérica	Siglas	Símbolo de reciclado
Poliéterterftalato	Etilen glicol ($\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_2$) Ácido tereftálico ($\text{C}_6\text{H}_6(\text{COOH})_2$)	PET (PETE)	
			

Figura 2.1: Identificación del plástico PET según la SPI¹

Si en los envases no se encontrara grabado el *símbolo de reciclado*, se puede utilizar luz ultravioleta para analizar la reacción a la luz de los diferentes plásticos, identificando al PET por su apariencia muy brillante frente a la luz ultravioleta.

¹ <http://www.aniq.org.mx/CIPRES/CLASIFICACION.ASP>

Para evitar la presencia de contaminantes químicos en el PET, se aprovecharán únicamente las zonas transparentes de los envases, evitando la boquilla y la base de los mismos.

Este paso comprende un proceso de corte para separar las zonas aprovechables de los envases.

El procedimiento del reciclaje mecánico consiste en:

a) Acopio de material.

Es importante puntualizar en un buen sistema de acopio ya que garantizará un buen suministro de materia prima para el resto de los procesos, es necesario un lugar cerrado, libre de humedad y suciedad.

b) Pacado.

Es común que en las grandes empresas de reciclado el material se compacte para reducir su volumen y así facilitar su transporte y almacenamiento.



Figura 2.2: Compactadora.²

²

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf



Figura 2.3: Fardos.³

c) Separación

La separación tiene por finalidad liberar al plástico de interés (en nuestro caso PET) de diferentes tipos de materiales especialmente de los otros tipos de polímeros que estén acompañando al material de interés y también de metales, algunas veces vidrio o papel.

La importancia de la separación radica en que si existiesen otros materiales presentes, éstos podrían perjudicar el proceso de reciclaje o directamente empeorar la calidad del producto final.

Existen métodos de separación automatizada basados en las diferencias de gravedad específica, difracción de rayos x y disolución en solventes.



Figura 2.4: Cinta de transportación para clasificación y separación⁴

³

⁴

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

Otra alternativa es la de tener sistemas de flotación cuando se reducen de tamaño todas las especies a la vez, es decir se puede contar con sistemas de flotación.

Ya sean éstas equipos Sink and Float a burbujeo o simplemente tinas de flotación vibratoras con bandas transportadoras como las que se muestran.

En estas tinas, el PET con una densidad mayor cae al fondo y es recogido por un tornillo sinfín que lo transporta a la siguiente etapa. El otro material que flota es recogido por unas paletas que arrastran desde la superficie el material hacia otra etapa.

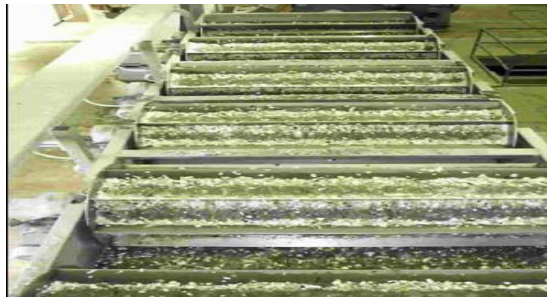


Figura 2.5: Tambores con paletas para flotación⁵

d) Reducción de tamaño

La reducción de tamaño no es otra cosa que el picado (molido) del material recolectado, cuyo principal objetivo es facilitar la siguiente operación dentro el proceso de reciclado, la limpieza del material picado y la introducción en la cadena de producción (extrusión) .

Para la reducción de tamaño existen diversos tipos de tecnología según el tamaño al cual se quiera llegar, para el PET puede llegarse a obtener hojuelas de media, un cuarto de pulgada o finalmente polvo, según el diseño y el tipo de molino del que se disponga.

⁵

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf



Figura 2.6: Esquema y forma de un molino convencional para PET⁶

e) Limpieza

Los flakes de PET están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento. De ahí que tienen que ser primero limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes.

El uso de hidrociclones cuando el desecho plástico está muy contaminado es una alternativa, el plástico contaminado es removido al ser ligero ya que flota en la superficie donde es expulsado.

Los contaminantes caen al fondo y se descargan. Después del proceso de limpieza, los plásticos se llaman hojuelas limpias o granulado limpio.

El uso de detergentes está limitado por la cuestión ambiental debido a que los efluentes del proceso o procesos de lavado deben ser tratados para que puedan ser reutilizados nuevamente en el ciclo de lavado. En segundo lugar, es necesario encontrar un adecuado sistema de purificación de las aguas residuales para no contaminar ni dañar el entorno en el cual se desarrolla el proceso de reciclado.

6

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

El uso de soda cáustica para el proceso de lavado es adecuado por las bajas concentraciones necesarias y porque la soda cáustica remanente en disolución se puede reutilizar para otros lavados, simplemente reponiendo la que se pierde en el proceso de lavado.

Sobre este punto ya existen tecnologías y sistemas de recuperación y tratamiento de aguas residuales de procesos de lavado de materiales contaminados que están disponibles.



Figura 2.7: Tratamiento de aguas residuales⁷

f) Secado

Posterior al ciclo de lavado sigue un proceso de secado el cual debe eliminar el remanente de humedad del material, para que pueda ser comercializado y posteriormente procesado.

Pueden usarse secadores centrifugados, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo.

O también pueden utilizarse secadores de aire, ya sea caliente o frío, que circulando por entre el material picado, eliminan la humedad hasta límites permisibles.

⁷

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

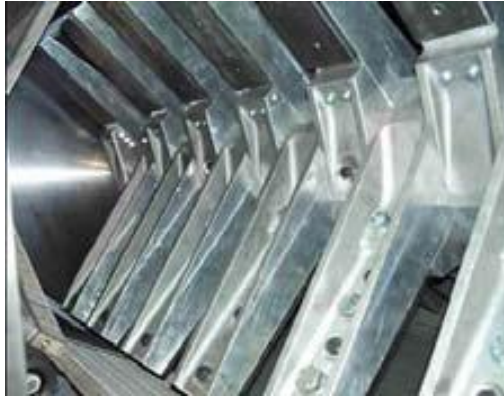


Figura 2.8: Secador centrífugo.⁸

Varios otros sistemas se han desarrollado para este proceso, dentro los cuales también están los de procesos simultáneos, los cuales combinan directamente los dos de los anteriormente mencionados. Es decir, sistemas que pueden al mismo tiempo operar como centrífugas con aire en contracorriente.

Procesos que combinan el molido y el lavado o el lavado y el secado, también son posibles y constituyen alternativas del proceso.



Figura 2.9: Línea de secado centrífugo.⁹

En los casos que se requiera extrema sequedad pueden usarse secaderos térmicos de doble lecho fluido con aire atemperado a 120 hasta 180 °C, durante periodos de entre 2, 4 a 6 horas dependiendo de la capacidad y diseño de los equipos.

⁸

⁹

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

g) Peletizado

El flake limpio y seco puede ser ya vendido o puede convertirse en "pellet". Para esto, el granulado debe fundirse y pasarse a través de un cabezal para tomar la forma de espagueti al enfriarse en un baño de agua.

La extrusión puede clasificarse como un proceso continuo, en el cual en todo instante de trabajo normal de un equipo de extrusión se obtiene producto invariable y constante en cualquier punto de su longitud.

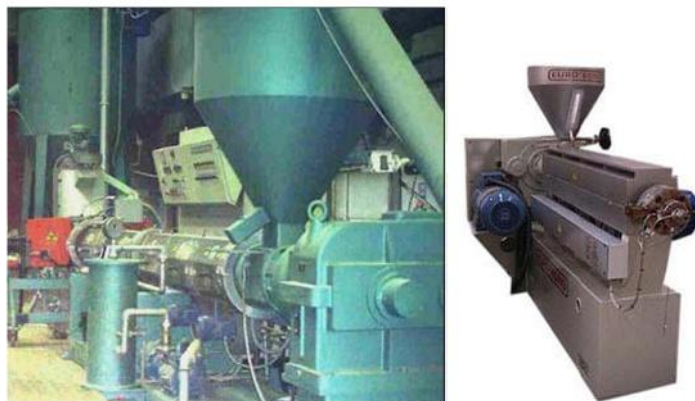


Figura 2.10: Extrusoras de PET¹⁰

Durante la transformación, la resina alimentada es reblandecida por acción de la temperatura que proviene generalmente de resistencias eléctricas y por la fricción de un elemento giratorio denominado husillo.

En este estado de "fusión" el plástico es forzado e impulsado a salir bajo presión a través de una matriz metálica que le confiere forma definida y sección transversal constante, esta matriz denominada "dado" es la que le da la forma útil al producto para que finalmente éste sea enfriado, favoreciendo su solidificación y confiriéndole estabilidad, evitando así deformaciones posteriores.

Una vez frío es cortado en pedazos pequeños llamados "pellets".

¹⁰

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

Anteriormente el proceso de extrusión cerraba el proceso de reciclado, quedando los pellets como producto final, pero con el tiempo la tecnología que puede incorporar directamente las hojuelas o flakes de PET directamente ha hecho que este paso solo se utilice para la fabricación de fibras, filamentos y en algunos casos película para termo formado.

Por esta razón en los procesos convencionales ya no es necesario llegar al paletizado, sino directamente a los flakes, limpios y sin degradar.



Figura 2.11: Máquina para monofilamento¹¹

Reciclado químico

Actualmente se están desarrollando tecnologías, a escala industrial, para el reciclado químico que consiste en la separación de los componentes básicos de la resina y la síntesis de nueva materia virgen, lo cual permite ampliar la gama de materiales a reciclar y el sustancial ahorro de gas y petróleo, que son las materias primas básicas del PET.

Existen en este sentido varios procesos, de los cuales los más importantes son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis.

Otro sistema de reciclado químico, utilizado en escalas relativamente pequeñas, en pequeños reactores, es la esterificación para componer resinas insaturadas utilizadas para fabricar láminas plásticas moldeadas en frío como

¹¹

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

las destinadas a techos, recubrimientos de guardabarros de automóviles, etc. y una infinidad de productos.

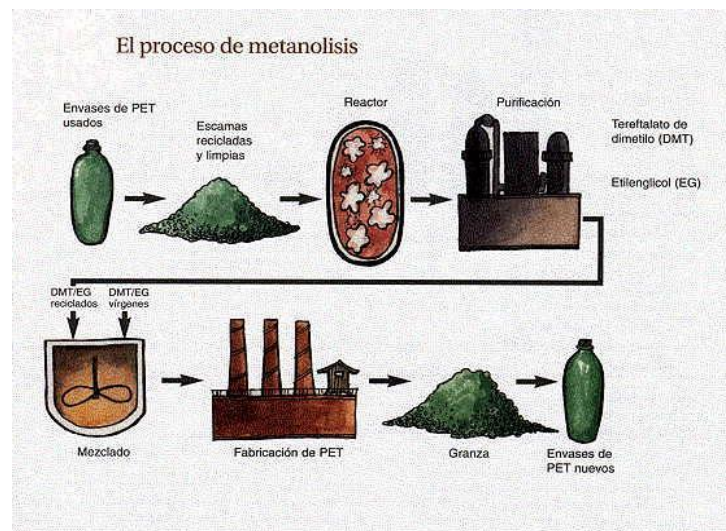


Figura 2.12: Proceso de metanolisis¹²

Se han desarrollado distintos procesos de reciclado químico, algunos de ellos a escala industrial, entre los que cabe mencionar los de metanolisis, hidrólisis, glicólisis, y saponificación.

Básicamente consisten en la depolimerización del material mediante distintos agentes químicos, con la finalidad de romper las cadenas poliméricas para volver a obtener los monómeros de partida.

Los productos obtenidos, de elevada pureza, se vuelven a polimerizar para fabricar de nuevo PET básicamente igual al material virgen, por lo que pueden utilizarse para las mismas aplicaciones, incluido el contacto con alimentos

Tipos de reacciones para el reciclado químico

En el proceso de reciclado químico, el PET es depolimerizado en sus monómeros base:

- Etilenglicol (EG)
- Ácido tereftálico (AT) o dimetiltereftalato (DMT), o en oligómeros.

¹²

http://catedragalan.investigacionaccion.com.ar/trabajos/b2ed3a4ee67dad3dac77f249c54d0ebb_recomendaciones_para_reciclar_pet.pdf

Los oligómeros se pueden usar para su reconversión a PET por policondensación o para la producción de poliuretano o resinas de poliésteres insaturados por reacciones químicas subsecuentes con otros monómeros. La mayor ventaja del reciclado químico es la posibilidad de usar cualquier tipo de PET, independiente de su peso molecular o los aditivos que contenga.

Separar los aditivos contaminantes del polímero es mucho más sencillo por la vía química que por la mecánica en el reciclado.

Los diferentes procesos para el reciclado químico del PET se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1.- Regeneración de los monómeros base (metanólisis para la producción de DMT e hidrólisis para producir AT y EG).
- 2.- Conversión en oligómeros (glicólisis).
- 3.- Usar los productos de la glicólisis para obtener productos de valor agregado.
- 4.- Conversión en compuestos químicos especiales por aminólisis.
- 5.- Conversión en compuestos intermedios para usar en otros plásticos.

a) Metanólisis

La depolimerización del PET a través de la metanólisis se lleva a cabo por medio del tratamiento del polímero con altas cantidades de metanol en presencia de un catalizador a altas presiones (20-25 kg/cm³) y a temperatura (180°C), por un tiempo de 3 a 5 horas.

Este proceso incluye un alto número de operaciones unitarias, como la filtración (centrífuga), cristalización multietapa, destilación al vacío, etc.

En el proceso de la metanólisis se obtiene un producto de DMT (dimetiltereftalato) de muy buena calidad y los resultados son bastante consistentes.

Este proceso también puede ser usado para PET coloreado y con contenidos de otros polímeros contaminantes.

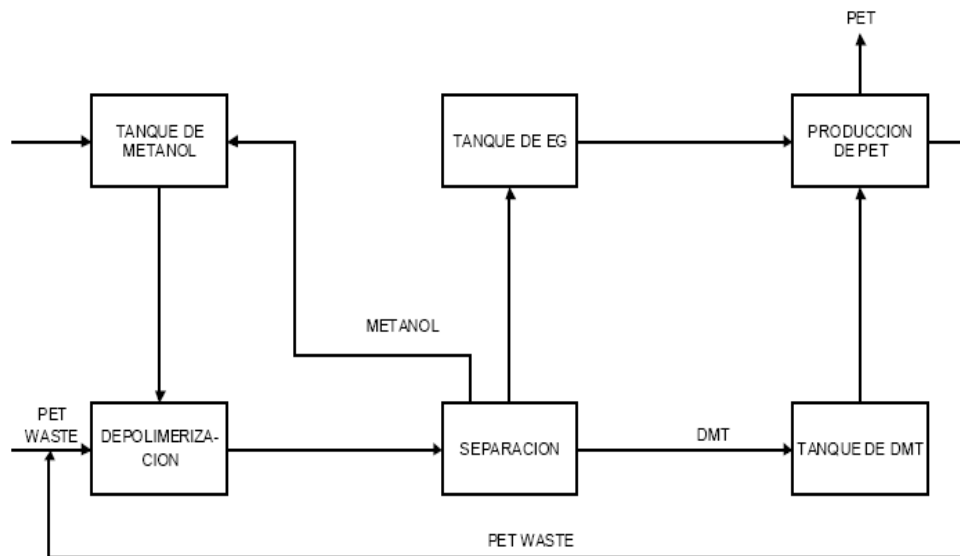


Figura 2.13: Diagrama de bloque de la metanólisis¹³

b) Hidrólisis

La hidrólisis del PET produce AT (ácido tereftálico) puro y EG (etilenglicol) para su posterior reutilización en la producción de polímero virgen.

El proceso de hidrólisis es clasificado en tres categorías diferentes, así: hidrólisis neutra con agua o vapor, hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina o saponificación.

c) Hidrólisis neutra

Es llevada a cabo con agua o vapor a altas presiones, para obtener AT (ácido tereftálico) puro.

El rango de temperatura de la reacción va desde 180°C (cerca del punto de fusión del PET) hasta 275°C (estado líquido).

Los rangos típicos para la reacción de hidrólisis presurizada son de 180 a 220°C en exceso de agua, con una relación en peso PET-agua de 1:6 a 1:12 y presiones de 1 a 4 MPa. El tiempo de reacción es de aproximadamente 5 a 6 horas.

¹³ <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P668.42CDR173/capitulo5.pdf>

d) Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida del PET implica el uso de un ácido inorgánico fuerte, como el ácido nítrico o ácido sulfúrico, para despolimerizar el PET en un pH de 2 a 6. El producto de la reacción es, entre otros, el AT (ácido tereftálico) crudo, que se debe purificar por medio de la formación de su sal de sodio.

Comúnmente en esta reacción se usa el ácido sulfúrico, con una concentración no menor al 87 %, para llevar a cabo el proceso en tiempos cortos (menores a 1 h) a bajas temperaturas de 85-95°C.

El uso de ácido sulfúrico diluido (menor al 67 %) necesita temperaturas de reacción más altas (cerca de 150°C) y altas presiones.

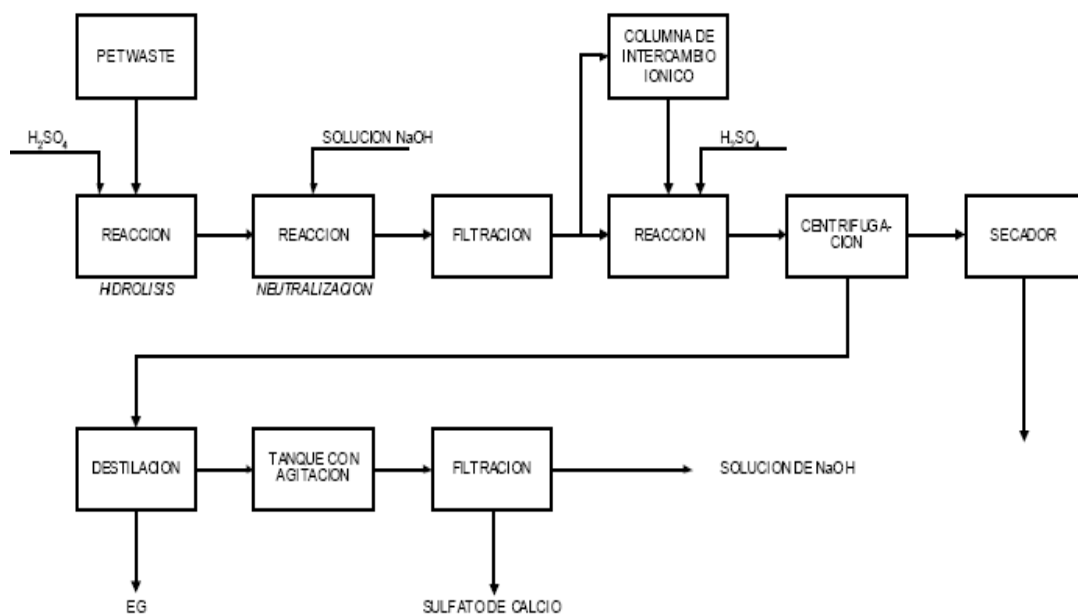


Figura 2.14: Diagrama de bloques de la hidrólisis ácida¹⁴

e) Hidrólisis alcalina

Este proceso es llevado a cabo con el uso de una solución acuosa de hidróxido de sodio, con una concentración del 4 al 20%, a una temperatura entre 180 y 250°C bajo presiones de 1.4 a 2 MPa.

¹⁴ <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P668.42CDR173/capitulo5.pdf>

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

f) Glicólisis

Cuando el PET es disuelto en exceso de EG (etilenglicol) a altas temperaturas, la reacción de condensación es reversada, esto es lo que se conoce como glicólisis.

Los productos de dicha reacción son el bis-hidroxietilentereftalato (BHET) y algunos oligómeros de bajo peso molecular.

El BHET se usa en la poliesterificación del PET, la cual es la etapa previa para la policondensación del PET nuevamente.

La reacción de glicólisis es catalizada por acetatos de Zn, Mn, Co, Pb, etc. El proceso de depolimerización se lleva a cabo a 190°C, con una relación molar EG/PET de 4:1, en un tiempo de aproximadamente 8 horas.

Esta reacción es acelerada a altas presiones.

A través de los años, la glicólisis se ha convertido en el proceso más viable en el reciclado químico, debido a que puede ser operado de modo continuo, a pequeña o gran escala con bajas inversiones de capital.

Estas características le dan muchas ventajas sobre sus similares en el reciclado químico, la metanólisis y la hidrólisis, pues éstas necesitan ser operadas en plantas con capacidades mínimas de 50.000 toneladas por año para ser comercialmente viables.

Recientes publicaciones han descrito el uso de xileno como medio de reacción en la glicólisis y radiaciones microondas como fuente energética.

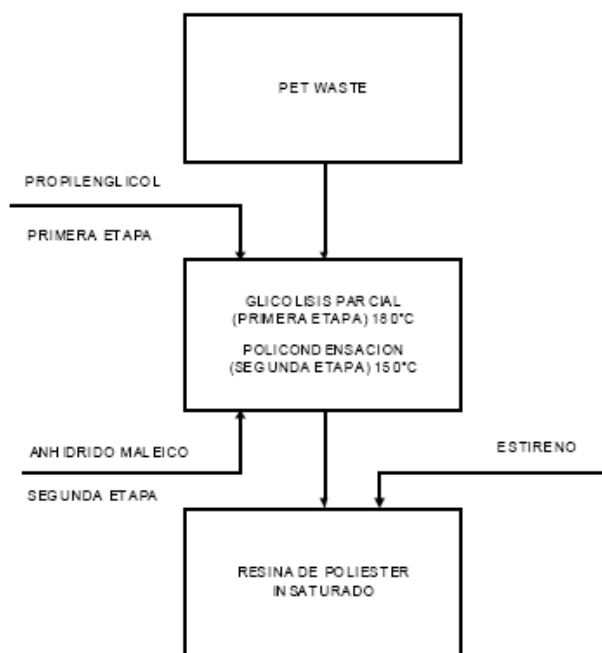


Figura 2.15: Diagrama de bloques de la glicólisis¹⁵

g) Aminólisis

Esta reacción lleva al PET a la formación de las correspondientes diamidas de AT (ácido tereftálico) y EG (etilenglicol). El proceso es llevado a cabo en una solución acuosa de aminas primarias, como metilamina o etilamina a temperaturas de entre 20 y 100°C.

El PET debe estar en forma de polvo o de fibras, para garantizar una alta superficie de reacción que permita una rápida depolimerización en estado sólido. Los productos de reacción, es decir las diamidas pueden ser usadas como compuestos intermedios o monómeros para la producción de poliésteres de amidas o poliúreas por medio de algunas reacciones subsecuentes con isocianatos.

Contrario a lo que se podría pensar y a pesar de las múltiples alternativas que existen para reciclar el PET, esta práctica constituye menos del 5% del consumo anual del polímero a nivel mundial.

¹⁵ <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P668.42CDR173/capitulo5.pdf>

En general se observa una gran tendencia a la optimización de las técnicas para el reciclado del PET a nivel mundial, buscando como fin un producto de la mayor calidad a precios competentes en el mercado que contribuyan con el desarrollo sostenible del planeta.

2.1.1.3 Condiciones óptimas para el reciclaje

Es evidente que para que se produzca un buen reciclaje, la sociedad debe intervenir en el proceso de clasificación de basuras, este tema es poco debatido públicamente tanto desde el punto de vista jurídico como técnico, considerando que la clasificación doméstica ha de ser un derecho, nunca una obligación; que es uno de los eslabones que dificultan el máximo ejercicio del buen reciclaje.

Considerando que parte de nuestras basuras, contenedores y residuos en general, el contribuyente paga un buen dinero para su recogida común, es abusivo presionar a éste a que contribuya además con un servicio extra, y gratis, como es la clasificación y catalogación de sus basuras (muchas de ellas de dudosa clasificación). Este es el principal impedimento del reciclaje.

Por lo que unas de las mejores condiciones que mejoraría el reciclaje, sería un incentivo, rebajando en general, el precio del recibo urbano de recogida de basuras; un buen gesto, sin duda por parte de las Administraciones locales, pero que tiene su justificación, ya que parte de esta rebaja se compensaría con la cantidad que reciben directamente de las industrias de reciclamiento.

Nunca hay que perder de vista, que la clasificación y catalogación de basuras por parte del contribuyente, es un servicio gratis que se realiza sin recibir ninguna contraprestación directa; además de considerar que la Administración

Local recibe una contribución por otra parte; de este modo se evitaría que siempre paguemos más, lo de siempre, el ciudadano.

Otros consejos para reciclar son:

- Usar productos biodegradables.

- Depositar siempre las pilas, cartón y papel en contenedores adecuados.
- Intentar usar combustible de gasolina sin plomo.

2.1.1.4 Contaminación del reciclado

En la vida moderna el plástico ha constituido un fenómeno de indudable trascendencia.

Hoy en día el hombre vive rodeado de objetos plásticos que en siglos anteriores no eran necesarios para la vida cotidiana.

En general, las personas tienen muy poco conocimiento sobre lo que es un plástico, cómo se obtiene, cuáles son los tipos de plástico y sus aplicaciones, y cuáles son los procesos de transformación del mismo. Estas informaciones son importantes para quienes trabajan en la comercialización de plásticos, e industrias de producción o transformación del plástico, o apenas curiosos por el asunto.

De tal forma surge como necesidad de mostrar a una parte importante a la población las graves consecuencias del mal uso del plástico que va desde la manera de obtención, hasta los procesos que se utilizan para reciclarlos.

Cabe destacar que el plástico es una sustancia muy importante para el desarrollo de la industria ya que su material sintético o natural que contiene como ingredientes esenciales, sustancias orgánicas de elevada masa molecular llamada polímero.

Así mismo surge como problema asociado la contaminación ambiental, muchas veces producto del desecho de los plásticos de alta y baja densidad.

Actualmente estos plásticos son muy utilizados a nivel comercial como envases o envolturas, de sustancias o artículos alimenticios los cuales son desechados al medio ambiente luego de su utilización. Como es evidente el desecho de estos plásticos al ambiente trae graves consecuencias a las comunidades como lo son las enfermedades entre las cuales se encuentra el dengue;

producida por el acumulamiento de basura y estancamiento de aguas negras sirviendo éstos como criaderos del zancudo patas blancas.

Entre otras de las consecuencias importantes se pueden mencionar son las obstrucciones de las tuberías de aguas negras.

Muchas de las ventajas de los productos plásticos se convierten en una desventaja en el momento que desechamos ya sea el envase porque es descartable o bien cuando tiramos objetos de plástico porque se han roto.

Si bien los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades.

Es realmente una tarea costosa y compleja para los municipios encargados de la recolección y disposición final de los residuos ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan.

Por sus características los plásticos generan problemas en la recolección, traslado y disposición final.

Algunos datos nos alertan sobre esto. Por ejemplo, un camión con una capacidad para transportar 12 toneladas de desechos comunes, transportará apenas 6 ó 7 toneladas de plásticos compactado, y apenas 2 de plástico sin compactar.

Dentro del total de plásticos descartables que hoy van a la basura se destaca en los últimos años el aumento sostenido de los envases de PET, proveniente fundamentalmente de botellas descartables de aguas de mesa, aceites y bebidas alcohólicas y no alcohólicas.

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

De esta manera, resulta claro que el abandono de estos materiales al medio ambiente representa un grave problema ambiental.

Por consiguiente existe la inquietud de elaborar un equipo con la capacidad de recuperar dichos plásticos que han sido desechados por la sociedad, los cuales son considerados no reusables.

De este modo surge como propósito diseñar un equipo que utilice energía térmica por inducción fundiendo el polietileno de baja densidad que se encuentren depositados en el mismo, una vez fundidos, aglomerados y en estado líquido pasan a ser vertidos a un molde para elaborar otros productos que serán utilizados en otras aplicaciones.

2.1.1.5 Degradación de polímeros

Aunque la degradación de los plásticos no representa en sí un proceso de gestión de los residuos, se considera que el resultado final conduce a la eliminación de los materiales plásticos post consumo en este caso el PET.

La degradación es un proceso dirigido a modificar la estructura del polímero para hacerlo vulnerable y perecedero y que desaparezca como residuo.

Los procedimientos de degradación previstos se basan en la acción de la luz (fotodegradación), del calor (degradación térmica), de la atmósfera (degradación oxidativa), de la humedad (degradación hidrolítica) y de los microorganismos (biodegradación). El primer efecto que causa la degradación es la disminución del peso molecular del polímero y en ocasiones aparece una reticulación en el mismo.

En el proceso de la degradación de un plástico se observan variaciones tanto físicas como químicas en el mismo.

Entre las modificaciones físicas pueden citarse la pérdida de brillo y color, la formación de grietas, la aparición de zonas pegajosas, y endurecimientos con la consiguiente pérdida de propiedades.

Los cambios químicos producidos van dirigidos fundamentalmente a la aparición de grupos funcionales nuevos que se ha comprobado facilitan la ruptura de las cadenas macromoleculares.

Fotodegradación

La mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa.

Es el caso de los filmes de polietileno utilizados en la agricultura que con el tiempo pierden elasticidad, haciéndose frágiles, quebradizos, llegando a rasgar fácilmente.

Este envejecimiento se atribuye a una reacción de fotooxidación térmica en cadena producida por la radiación luminosa de mayor energía correspondiente a una longitud de onda comprendida entre 290 y 350 nanómetros, en la que se generan grupos carbonilo. Estos grupos son los que desencadenan las reacciones degradativas del plástico.

Biodegradación

La mayoría de los plásticos son inmunes al ataque de microorganismos, hongos y levaduras aunque se modifiquen las condiciones ambientales de uso como la temperatura, el grado de humedad, la concentración de oxígeno, etc.

Se ha comprobado que aquellos plásticos que han sufrido primeramente una fotooxidación, son vulnerables a ciertos microorganismos y a las enzimas generadas por éstos.

La condición estructural que favorece la biodegradación es que en la molécula exista un grupo carbonilo vecino a un átomo de carbono secundario o terciario para que pueda ser transformado por el microorganismo en un carbonilo, siendo en ese punto donde tiene lugar la fragmentación.

Una vez formado el grupo carbonilo, el ataque continúa por acción de las enzimas mediante un proceso hidrolítico que reduce las cadenas macromoleculares a fragmentos de un peso molecular del orden de 500 que ya pueden ser digeridos por los microorganismos.

Para facilitar la biodegradación, suelen incorporarse al material polímeros naturales como el almidón o celulosa ya que al degradarse primeramente, dejan huecos y porosidades en el plástico que favorecen el desmoronamiento y degradación de aquellos.

Estos polímeros naturales se degradan por reacciones de hidrólisis seguidas de oxidación posterior.

También se sintetizan polímeros en los que existen en las cadenas grupos fácilmente hidrolizables, como amidas, ésteres, uretanos, etc.

Para que tenga lugar el proceso biodegradativo, han de darse ciertas condiciones en el medio como son, además de la presencia de microorganismos, una concentración adecuada de oxígeno y de humedad.

La temperatura debe controlarse en un intervalo determinado generalmente entre 20 y 60 °C y el pH del medio no debe ser ni demasiado ácido ni demasiado alcalino, por lo general está comprendido entre 5 y 8. En estas condiciones los microorganismos ejercen su acción degradativa.

Aprovechamiento energético

El PET es un polímero que está formado sólo por átomos de Carbono e Hidrógeno, por lo cual al ser quemado produce sólo dióxido de carbono y agua ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) con desprendimiento de energía.

Cuando se trata de comunidades pequeñas o medianas, geográficamente aisladas, las posibilidades de reciclado son limitadas por los volúmenes disponibles y los costos de transporte hacia centros que dispongan de infraestructura adecuada.

En estos casos el aprovechamiento energético permite dar asistencia a escuelas, asilos y sectores de menores recursos para complementar su calefacción, agua caliente, etc.

En estos casos las metas son directamente ambientales y sociales.

El beneficio debe medirse en el mejoramiento de la calidad de vida de toda la población y la disminución de subsidios, partidas que pueden ser direccionadas hacia otros sectores de la comunidad.

Un gramo de PET libera una energía de 22,075 Btu/g similares a las que tienen otros combustibles derivados del petróleo.

Tabla 2.2: Poder calórico del PET.

Combustible	Btu/g
Poliolefinas	43,929
Carbón	23,178
PET	22,075
Papel periódico	17,660
Basura húmeda	6,181

Fuente: www.Petpower.aspx

2.1.1.6 Aplicaciones del Pet reciclado

Uno de los factores que más está contribuyendo al desarrollo del reciclado del PET es la variedad de aplicaciones existentes, lo que determina que exista una importante demanda de este producto.

Entre las más relevantes está la fibra textil, las láminas para fabricación de blísters y cajas, los flejes para productos voluminosos, los envases para productos no alimentarios, los envases multicapa para alimentos y los envases para alimentos.

La demanda de PET reciclado ha hecho que se incremente de forma importante la capacidad y el número de las plantas de reciclado, especialmente a partir de 1994.

Sin embargo, el crecimiento de la producción no ha sido tan pronunciado, lo que significa que en conjunto las plantas de reciclado están trabajando ligeramente por encima del 50% de su capacidad.

Como en el caso de otros materiales, actualmente el principal problema que limita un mayor crecimiento de la producción de PET reciclado radica en la recuperación de los envases post consumo.

Hay que tener en cuenta que en los principales países consumidores de PET: Italia, Francia, Reino Unido y España, los sistemas de recogida selectiva de envases aún se encuentran en una etapa relativamente incipiente.

En línea con esta tendencia europea, en nuestro país también está creciendo la recogida selectiva de envases, aunque aún cubre un porcentaje de población reducido.

Los mercados para el PET reciclado pueden dividirse en dos áreas principales:

- 1.- Materiales con un peso molecular relativamente alto ($IV > 0.65$)
- 2.- Materiales con un peso molecular menor ($IV < 0.6$).

Uno de los factores que más está contribuyendo al desarrollo del reciclado del PET es la variedad de aplicaciones existentes como:

a) Alfombras

Las botellas de PET para reciclar son usadas frecuentemente en la producción de fibras (telas tejidas, cordeles, alfombras, etc.).

En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir.

Debido a su resistencia, el PET se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones, hilos de costura y refuerzo de llantas.

Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia química permite aplicarla en cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales.

El PET reciclado es mezclado en una relación 1:8 con LDPE reciclado y extruído en cintas monoaxiales que luego son divididas en tiras que pueden ser tejidas para nuevas aplicaciones en alfombras en este caso.

b) Láminas

El PET reciclado de botellas de bebidas ha demostrado ser muy apropiado para bandejas de embalaje termo formado con buen brillo, esfuerzo de impacto y esfuerzo de tensión.

Las cintas de embalaje para cámaras Polaroid están siendo producidas de láminas de PET. Éste tipo de láminas de PET termo formado además pueden ser usadas en fundas de detergente.

c) Envases que no son para alimentos

Las botellas de PET para su aplicación post consumo, dependen de su calidad o si pueden ser mezcladas con resina virgen.

Éstas son usadas para detergente o productos del hogar, estas botellas son de varios colores. Desde que el PET es competencia del PVC y HDPE en éste tipo de aplicaciones el mercado de precios es muy sensible.

d) Resinas de ingeniería

El PET reciclado puede ser modernizado con elementos como la fibra de vidrio, y moldeado a inyección para producir partes para automóviles, cosas del hogar y aplicaciones computacionales como ventiladores, electrodomésticos y muebles.

Los polímeros ingenieriles pueden ser producidos también de mezclas de PET reciclado con policarbonato.

Estas mezclas combinan la ductilidad y la resistencia del policarbonato con la resistencia del PET para dar como resultado un material con mejores propiedades.

En la actualidad se están abriendo cada vez más nuevos campos de aplicación y se desarrollan botellas PET de alta calidad y reducido peso, entre sus aplicaciones más importantes dentro de los siguientes sectores:

e) Envase y empaque

El PET han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de manera rápida de los envases, por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros.

Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias.

La participación del PET dentro de este mercado es en:

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

f) Electro-electrónico

Este segmento abarca diversos tipos de películas y aplicaciones desde las películas ultra delgadas para capacitores de un micrómetro o menos hasta de 0.5 milímetros, utilizadas para aislamiento de motores. Los capacitores tienen material dieléctrico una película PET empleada para telecomunicaciones, aparatos electrónicos entre otros.

2.1.1.7 Impacto ambiental debido a los desechos plásticos.

El impacto en el medio ambiente de las miles de bolsas de plástico que consumimos, es enorme, y eso sin contar la gran cantidad de energía necesaria para su fabricación, puesto que están compuestas de sustancias derivadas del petróleo, que además tardan en degradarse entre 80 y 90 años. Sin contar con las pinturas y serigrafías que llevan en su publicidad que normalmente están fabricadas a base de residuos metálicos tóxicos.

A todo esto hay que añadir, que el plástico como material está presente en la mayoría de productos que consumimos, generando más y más residuos cada día en las ciudades, los ecosistemas naturales, los ríos, el mar.



Figura 2.16: Impacto ambiental¹⁶

Cuando llegan al mar, el impacto ya es letal, para el propio mar, pero sobre todo para los animales que desconociendo el peligro que conllevan, las ingieren y acaban muriendo de una forma atroz. El año pasado, cerca de 100.000 ballenas, focas, tortugas y otros animales marinos murieron con bolsas de plástico en el interior de su organismo.

Cuando llega el verano y vamos a las playas, no pensamos que nuestro paso por ellas va dejando un rastro de muerte, para el propio mar y para los animales que en él habitan, la huella que vamos dejando a nuestro paso, además de la suciedad, son millones de objetos de plástico de todo tipo, que

¹⁶ <http://estoesnada.blogcindario.com/2008/07/02693-greenpeace-quot-en-canarias-existen-208-puntos-de-vertidos-contaminantes-ilegales-quot.html>

dejamos abandonados en las playas y costas, y que el viento y/o las mareas se encargan de arrastrar mar adentro.

Una bolsa de plástico puede navegar a lo largo y ancho del mundo, entre 30 y 40 años sin degradarse, empezando otro ciclo: el de la destrucción de la fauna marina.

Las tortugas marinas las confunden con medusas y las comen ahogándose en el intento por tragarlas. Los delfines, ballenas, focas y demás animales lo mismo, ellos no reconocen que son desperdicios humanos, simplemente están acostumbrados a que “lo que flota en el mar se come” según palabras de un famoso biólogo.



Figura 2.17: Ave afectada por contaminación plástica¹⁷

Pero la ingesta de plásticos no sólo afecta a los animales marinos, también a las aves; En estudios patológicos realizados a animales en libertad fallecidos, que de un modo u otro tienen el mar como su entorno natural de vida, se descubrió que en el interior de sus organismos, había desde, tapones de botellas, pasando por encendedores u otros trozos de pequeños plásticos.

Así pues, ya vemos que no sólo afecta a los animales acuáticos, también a las aves.

Y, es que el plástico es versátil, resistente y sobre todo barato. Si miramos a nuestro alrededor, veremos que estamos rodeados de objetos fabricados con

¹⁷ <http://juancarloschambo.blogspot.com/2008/08/una-pequea-recopilacin-sobre-la.html>

plástico. Cada vez se produce más... y claro, cada vez tenemos que desechar más.

El Pet en el ambiente.

Los recipientes son 100% reciclables. Sin embargo, no sólo es su calidad de reciclabilidad que lo hace amistoso medioambientalmente.

Siendo el envase sumamente ligero, también ayuda a disminuir la formación de desechos de empaque al mismo tiempo que reduce la emisión de contaminantes durante su transporte.

Además, dado que se requiere menos combustible durante su transporte, también ayuda a la conservación de la energía.

Estos recipientes se usan para toda clase de bebidas: como cerveza y jugos de fruta que son sensibles a la luz. De hecho el sabor de los jugos y la cerveza pueden degradarse si la luz UV penetra las paredes del recipiente.

El PET puede acomodarse a las necesidades del gusto de jugos de fruta, gracias a una barrera funcional que puede insertarse dentro de las paredes de la botella. Esto es lo que se llama “botellas de barrera” en el argot del PET.

Para dar nacimiento a un nuevo producto, deben coleccionarse los recipientes usados por encima de todo. Hoy día, la mayor parte de las ciudades europeas y americanas ha puesto en lugar un esquema de la colección para recuperar los artículos reciclables.

El segundo paso en recuperar es enviar el material a una planta dónde los materiales son separados según su naturaleza. Las botellas recuperadas entonces son perforadas y embaladas y enviadas a un reclamador. El reclamador, es una fábrica que trasforma las botellas en hojuelas de PET, el material crudo es la base de los productos reciclados. La primera cosa que el reclamador tiene que hacer es desembalar los bultos. Para asegurarse que el producto final será tan puro como sea posible, las botellas desembaladas se ordenan una vez más después se pre-lavan y las convierten en hojuelas. Las

hojuelas se lavan, secan, se almacenan y se venden. Cuando las hojuelas se venden entra en acción el verdadero proceso de reciclado: se funden las hojuelas, se obtiene el material, y entonces es fabricado un nuevo producto.

2.2 MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1 BOMBAS DE VACÍO

Una bomba de vacío es un tipo de bomba que extrae moléculas de gas de un volumen sellado a una temperatura determinada por un lado y lo expulsa por el otro, para crear un vacío parcial.

Tipos de Bombas de Vacío.

Rotativas de paletas

Con la adopción de una técnica constructiva de vanguardia y el empleo durante la fase de fabricación de modernos centros de trabajo de control numérico, las bombas de vacío P.V.R. reúnen un elevado estándar de calidad y de rendimiento, características que economizan su utilización con:

- Alta velocidad de bombeo en el campo de presión absoluta, comprendido entre 850 y 0,5 mbar.
- Bajo nivel sonoro;
- Ausencia de contaminación;
- Refrigeración por aire
- Construcción particularmente robusta
- Mantenimiento reducido

Las bombas de vacío de la serie PVL/EU y PVL/B - EU/B bombas rotativas de paletas de una etapa, con sistema de lubricación automático por recirculación de aire, utilizadas sobre todo para la aspiración de aire, aun en presencia de vapor de agua y para procesos industriales continuos. Se construyen en dos versiones en función del vacío previsto para su utilización. La gama completa va de 10 a 12000 m³/h (según normativa PNEUROP 6602).

De anillo líquido

Las bombas de vacío de anillo líquido tienen una construcción simple pero robusta, con las siguientes características:

- Compresión casi isotérmica
- Sin lubricación interna - libres de aceite.
- Capacidad de manejar la mayoría de gases y vapores.
- Tolerancia a la entrada de líquidos y sólidos.
- Diseño simple para materiales resistentes a la corrosión.

Las bombas de anillo líquido constan de una carcasa mandrilada cilíndricamente, en la cual el rotor se encuentra dispuesto excéntricamente. La carcasa se llena parcialmente de líquido (denominado líquido de servicio) y con el giro del rotor, se transforma en un anillo hidráulico que se adhiere a la carcasa. De esta forma, con el núcleo del rodete del rotor dispuesto excéntricamente, un área de trabajo falciforme que es dividido por los alabes del rotor.

Las bombas de vacío de anillo líquido poseen capacidades de succión de 10 m³/h asta 30 000 m³/h, generando un vacío hasta por debajo de los 30 mbar absolutos.

Desventajas:

- Alto poder de absorción.
- El fluido de proceso y el fluido auxiliar (anillo líquido) se mezclan generando contaminación.

Bomba de membrana o de diafragma

Una bomba de membrana o de diafragma es una bomba de desplazamiento positivo que, para bombear líquido, combina la acción recíproca de un diafragma de teflón o caucho y de válvulas que abren y cierran de acuerdo al movimiento del diafragma. A veces a este tipo de bomba también se llama bomba de membrana. Hay tres tipos principales de bomba de diafragma:

El de primer tipo, el diafragma se sella con un lado en el líquido que se bombeará, y el otro en aire o líquido hidráulico. El diafragma se dobla, haciendo que el volumen del compartimiento de la bomba aumente y disminuya. Un par de válvulas previene que la corriente tenga un movimiento contrario.

El segundo tipo de bomba de diafragma trabaja con la dislocación positiva volumétrica, pero diferencia en que lo que mueve al diafragma no es ni aceite ni aire, sino que tiene un funcionamiento electromecánico a través de una impulsión engranada del motor. Este método dobla el diafragma con una acción mecánica simple, y un lado del diafragma está abierto al aire.

El tercer tipo de bomba de diafragma tiene uno o más diafragmas sin sellar con el líquido que se bombeará en ambos lados. Los diafragmas se doblan otra vez, haciendo cambiar el volumen.

Cuando el volumen de un compartimiento de cualquier tipo se aumenta el diafragma baja, la presión disminuye y el líquido entra dentro del compartimiento. Cuando la presión del compartimiento aumenta (ya que el volumen disminuye), el diafragma sube y el líquido guardado previamente adentro es forzado a salir. Finalmente, el diafragma baja impulsando de nuevo más líquido dentro del compartimiento, terminando el ciclo. Esta acción es similar a la del cilindro de un motor de combustión interna.

De Canal Lateral

Las máquinas extractoras de canal lateral están conceptuadas según el principio de los canales laterales. Funcionan tanto en aspiración como compresión y han sido proyectadas para trabajar en servicio permanente.

Mediante un rodete especial, el aire aspirado está obligado a seguir un recorrido en espiral y así mismo sometido a reiteradas aceleraciones incrementando así la presión diferencial del fluido transportado a través del soplante. El rodete está montado directamente sobre el eje del motor y todas las partes giratorias están dinámicamente equilibradas, obteniéndose así una ausencia prácticamente total de vibraciones. Los soplantes de Canal Lateral están normalmente contruidos totalmente en aluminio moldeado a presión.

Es importante apreciar que el aire o gas aspirado o comprimido se mantiene limpio, y libre de rastros de aceite, ya que ningún tipo de lubricación es necesaria en los Soplantes de Canal lateral. El nivel sonoro normalmente estará alrededor de los 70 dB y los niveles de vibración son prácticamente inexistentes. Cabe reiterar que estos equipos pueden ser montados tanto en forma vertical como horizontal, dando así aún más flexibilidad de diseño al sistema en el cual se lo incorpora. Los Soplantes de Canal lateral son generalmente usados en sistemas de: -Transporte Neumático -Plantas Purificadores de Agua -Industria Textil - Equipamientos de limpieza industrial y otras aplicaciones donde existe la necesidad de aire o gas limpio.

Estos soplantes alcanzan caudales de hasta 1500m³/h y una depresión máxima de 450mbar.

2.2.2 LA NECESIDAD DE HACER VACÍO.

Existen diversas razones prácticas por las que es conveniente hacer vacío, a continuación referimos algunos casos:

- La tecnología de vacío es utilizada para extraer la humedad de los alimentos, químicos, productos farmacéuticos, etc., y los gases ocluidos (disueltos) en aceites plásticos, y otros líquidos.
- La producción de jugo de frutas y leche concentrada, son ejemplos de producciones a gran escala basadas en la concentración en vacío, para lo cual no se requiere de alta temperatura para evaporar el agua o solventes contenidos en los productos.
- Para remover los constituyentes de la atmósfera que pudieran causar una reacción física o química, como puede ser la oxidación, durante un cierto proceso, por ejemplo, la fundición en vacío de metales reactivos como el titanio.
- Para modificar una cierta condición de equilibrio que existe en condiciones ambientales normales, como para remover gas disuelto u ocluido o líquido volátil de la parte interna de un material, por ejemplo, en procesos de secado al vacío.

- Para reducir el número de impactos de las moléculas del gas ambiental con una cierta superficie preparada en vacío, por ejemplo, en la preparación de películas delgadas puras, o en estudios de superficies limpias.
- Para la producción de nuevos materiales y para el enriquecimiento o la separación de los isótopos de los elementos.

Tabla 2.3: Historia de las bombas de vacío

<i>Año</i>	<i>Autor</i>	<i>Descubrimiento</i>
Siglo VIII	Hauskbee y Nollel	Mejoras a la bomba de Von Guericke
1850	Geissler y Toepler	Bomba de columna de Hg
1865	Sprengel	Bomba de gota de Hg
1905	Wolfgang Gaede	Bomba de vacío o rotatoria
1913	Wolfgang Gaede	Bomba molecular de vacío
1915	Wolfgang Gaede	Bomba de difusión
1916	Irving Langmuir	Condensación-difusión
1923	F. Holweck	Bomba molecular
1935	Wolfgang Gaede	Bomba de balastra
1936	Kenneth Hickman	Bomba de difusión de aceite
1953	Schwartz y Herb	Bomba iónica

Fuente: www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx

La tecnología actual del vacío permite obtener vacíos que van desde casi la presión atmosférica hasta 10^{-13} torr mediante una gran variedad de sistemas de bombeo. El dispositivo conveniente para hacer vacío depende de cuál sea la aplicación que se le quiera dar.

2.2.3 PARÁMETROS Y CLASIFICACIONES DE LAS BOMBAS DE VACÍO

La selección de la bomba de vacío que va a emplearse para un cierto proceso está definida por sus parámetros específicos, los cuales determinan sus propiedades. Los parámetros más importantes de los sistemas de vacío son:

- La presión más baja que puede lograr
- El intervalo de presión
- La velocidad de bombeo
- La presión de descarga y el gas residual.

Un ejemplo de la utilización de bombas en un sistema típico de alto vacío se ilustra en la figura.

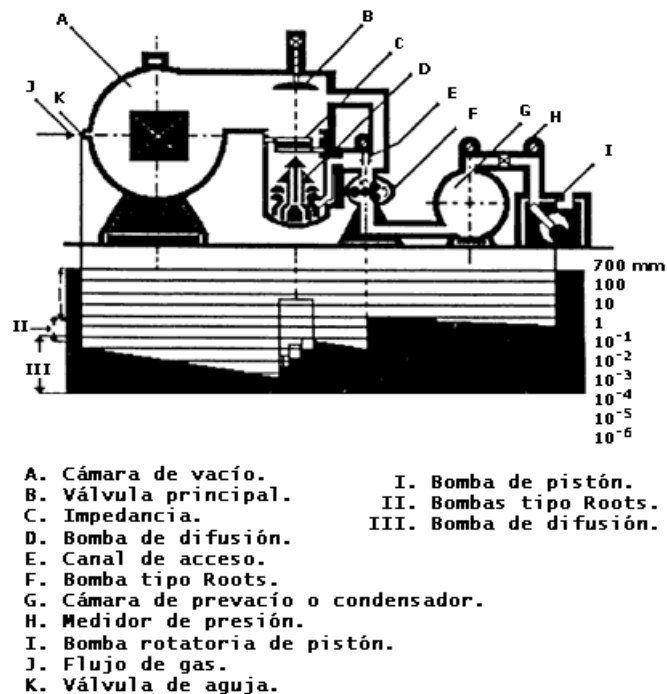


Figura 2.18: Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío¹⁸.

¹⁸ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm

Por otra parte, la clasificación de las bombas de vacío se presenta en la figura siguiente de acuerdo con su intervalo de presión.

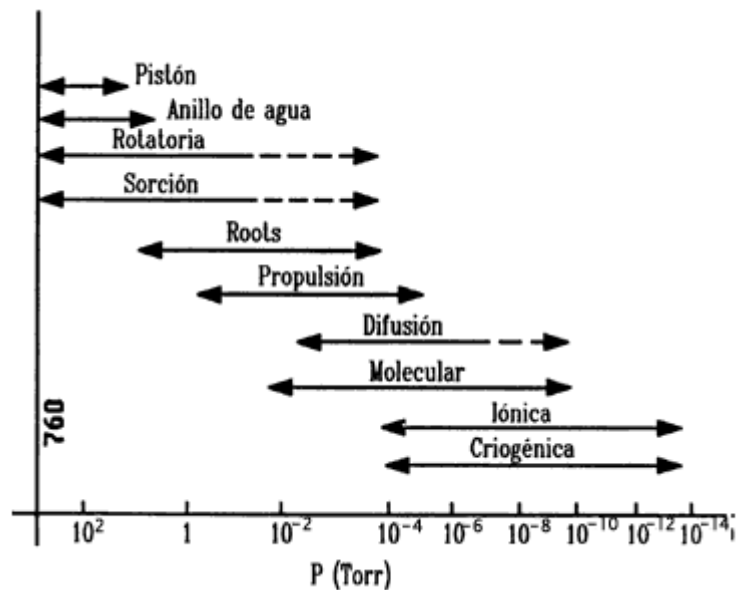


Figura 2.19: Rasgos de presión para bomba de vacío¹⁹.

DESCRIPCIÓN BREVE DE ALGUNAS BOMBAS DE VACÍO

La bomba de paletas rotatorias posee dos ductos, uno de dimensiones mayores respecto al otro.

El ducto mayor da al exterior de la bomba (conexión con la cámara a desalojar), y dentro de la bomba hasta el estator; es considerado como la entrada al estator. Por otra parte, el ducto pequeño es la salida del estator y conduce a un recipiente parcialmente lleno de aceite.

Al final del ducto menor se coloca una válvula de descarga, la cual regula la salida de gas del estator al recipiente. El recipiente a su vez tiene salida al exterior de la bomba.

El funcionamiento de la bomba de paletas rotatorias es sencillo: al girar el rotor provoca que las paletas se deslicen sobre las paredes del estator (con una presión uniforme debido al resorte que sostiene a las paletas), esto permite la

¹⁹ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm

entrada del gas entre el estator y el rotor; después se mueve el volumen de gas contenido en esta región hasta la salida del estator.

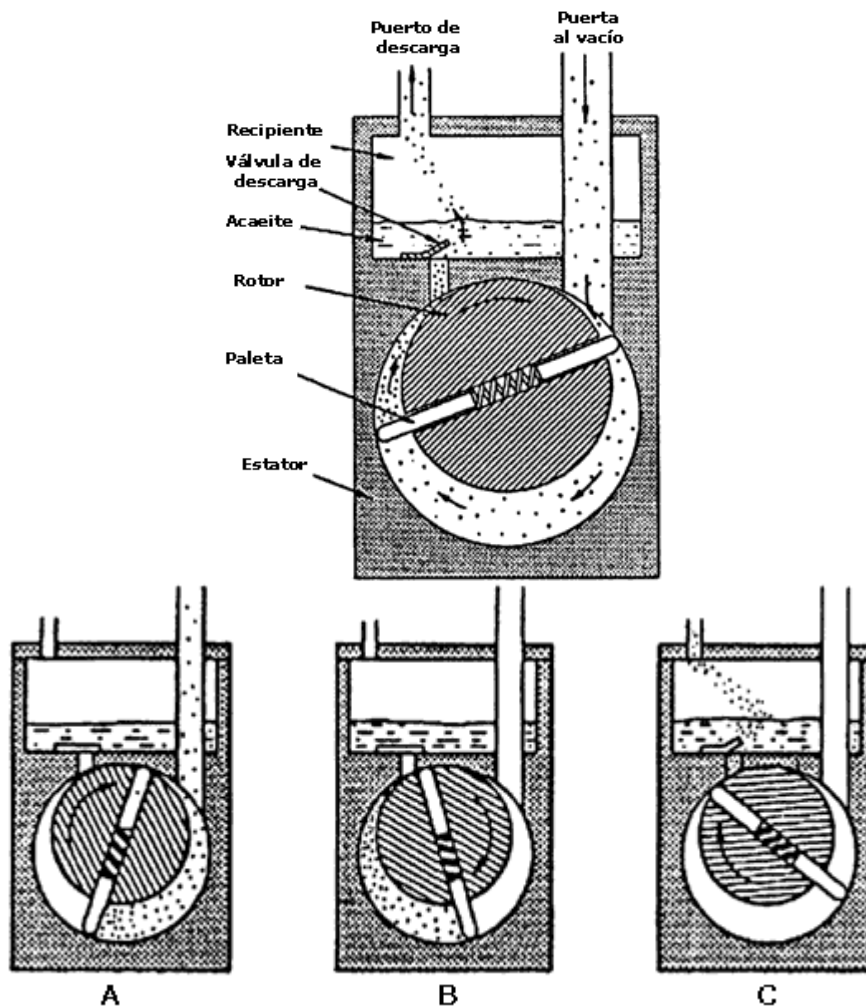


Figura 2.20: Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción²⁰.

- A) Las paletas deslizantes se mueven cuando el rotor gira. El volumen entre la entrada y la paleta inferior es incrementado; esto causa que el gas se mueva dentro de esta área desde la entrada.
- B) El gas ha sido aislado del sistema de vacío y comienza a empujarse hacia la válvula de descarga.
- C) El gas se comprime ligeramente arriba de la presión atmosférica. La válvula de descarga se abre y el gas es expulsado fuera de la bomba a través del aceite en el recipiente.

²⁰ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm

2.2.4 LAS CÁMARAS, SELLOS Y VÁLVULAS PARA VACÍO

LAS CÁMARAS

Las *cámaras* o *contenedores* en los sistemas de vacío se construyen por lo general de vidrio o acero inoxidable.

La característica principal que debe tener el material de la cámara es su resistencia a la fuerza ejercida sobre ella por la presión atmosférica. Esto es claro si se considera que la presión atmosférica ejerce una fuerza de un 1 kg/cm² en el área superficial de la cámara. Por ejemplo, una cámara con una superficie de 1 m² debe resistir 10 toneladas de peso.

Las cámaras de metal son hechas, por lo general, en secciones de forma cilíndrica, porque así la cámara puede resistir con mayor facilidad la presión externa. Enrollando una hoja gruesa de metal, los extremos de la cámara cilíndrica son convenientemente cerrados con placas planas de metal.

La capacidad de un cilindro para no colapsarse por la presión externa depende de su diámetro, espesor de las paredes, y la firmeza del material. Después de construida la cámara, es necesario hacerle un electro-pulido a la superficie que será expuesta al vacío, para minimizar la cantidad de gas absorbido en las paredes del contenedor.

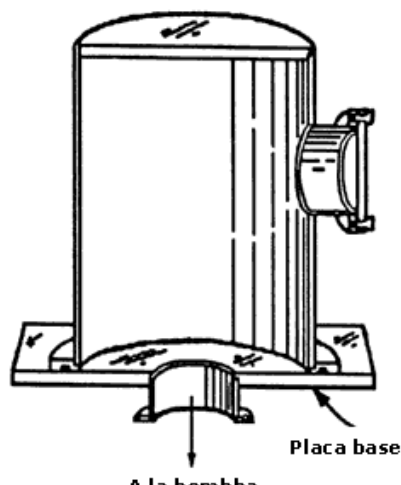


Figura 2.21: Tipo más común de cámara de metal²¹.

²¹ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm

Se puede utilizar la cámara después de someterla a una limpieza que consta de los siguientes pasos:

- Estregar con gran cantidad de detergente (puede usarse detergente líquido para trastes).
- Enjuagar con agua caliente.
- Enjuaga con agua destilada.
- Enjuagar con metanol puro.

De esta manera podemos tener un sistema limpio de grasa, aceites y residuos de metal, para obtener la presión deseada. Después de montado todo el equipo es necesario someter la cámara a calentamientos a diferentes temperaturas para propiciar el degasamiento de las paredes.

Un contenedor puede tener diferentes extensiones (conexiones), en éstas se pueden colocar medidores de presión, calefactores, conexiones eléctricas o electrónicas, fuentes de voltaje, rayos X, ventanas, las diferentes bombas para hacer vacío, espectrómetros de masas, manipuladores de muestras, etc.

Todo cuanto sea necesario para trabajar con comodidad, y lo más importante, las herramientas útiles para resolver los problemas que se presentan durante el desarrollo de cierto proceso industrial o algún experimento de interés científico o tecnológico.

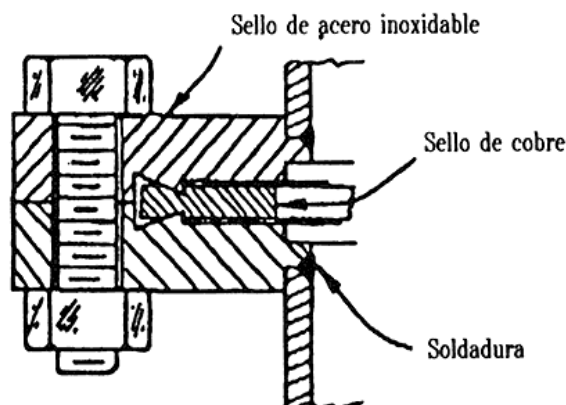


Figura 2.22: Bridas²².

²² http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm

LOS SELLOS

Las extensiones en las cámaras de vacío son cilíndricas y de diferentes diámetros. Todo tipo de artefactos a introducirse en la cámara vienen montados en las bridas, las cuales funcionan como tapaderas de las extensiones (Figura VI.2). Para cerrar el sistema, entre las bridas y las extensiones existe una franja triangular para colocar los sellos (Figura VI.3).

En los sistemas de vacío los sellos son en forma de anillos circulares con sección transversal rectangular o circular; son fabricados de materiales de vitón, neopreno o metálicos. Existen sellos estáticos (inmóviles) y sellos mecánicos (movibles dentro del sistema).

Para presiones menores a 10^{-7} torr, los sellos de las conexiones de vacío se elaboran de una variedad de elastómeros, los más usuales son Buna-N, caucho sintético y Vitón-A. El Buna-N puede ser calentado hasta 80°C y no soporta largos periodos de compresión, mientras que los sellos de Vitón-A soportan temperaturas superiores a los 250°C y no son muy deformables por lo que soportan largos periodos de compresión.

Otro tipo de sellos usados con frecuencia a presiones inferiores a 10^{-7} torr, son los de cobre y aluminio. La ventaja de éstos es que el sistema puede ser horneado a altas temperaturas ($\sim 450^{\circ}\text{C}$) sin que el sello presente problemas de elongación o deformación. Otra ventaja resulta de su bajo índice de degasamiento.

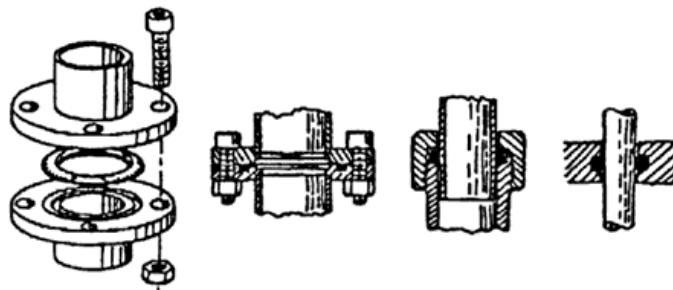


Figura 2.23: Sellos de anillo²³.

²³ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm

Los diámetros internos de los sellos varían de 2-3 mm de d. i. (diámetro interno) hasta varios metros, lo cual da cuenta de la gran variedad de tamaños que se usan.

LAS VÁLVULAS

Para el uso en sistemas de vidrio, sistemas de metal en alto vacío y ultra alto vacío existe poca variedad de válvulas en el mercado, ya que por lo general las válvulas de vacío son tan complejas que resulta incosteable para un laboratorio fabricarlas, y son las grandes compañías de equipo para vacío las que las producen.

Las dos válvulas de vidrio más comunes se ilustran en la figura VI.4. Se emplean principalmente en sistemas para producción de vacío primario. En la figura VI.5 se ilustran válvulas de metal: a) la válvula de este tipo se hace de acero inoxidable con sellos de vitón y puede calentarse hasta 200°C; se usa comúnmente en sistemas con bombas de difusión en pequeños sistemas de alto vacío. Las válvulas de metal de la figura VI.5b) y c) se usan para aislar bombas de difusión o bombas iónicas de una cámara de alto vacío; se elaboran con aluminio o acero inoxidable y tienen una apertura interna de 5 a 25 centímetros.

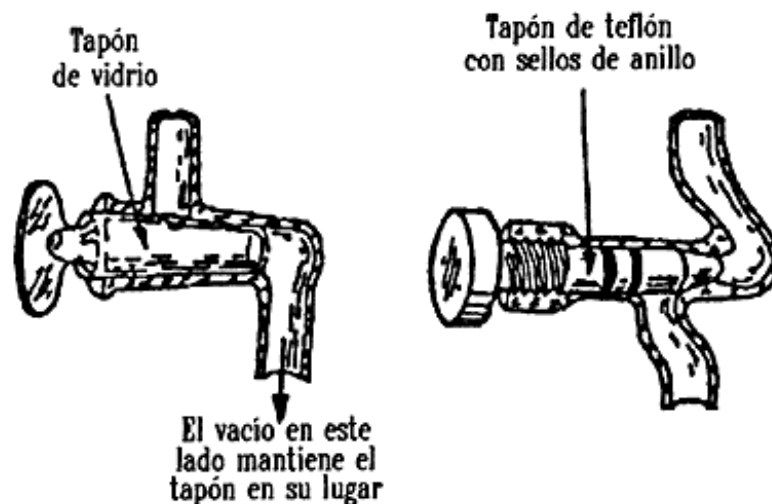


Figura 2.24: Válvulas de vidrio²⁴.

²⁴ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm

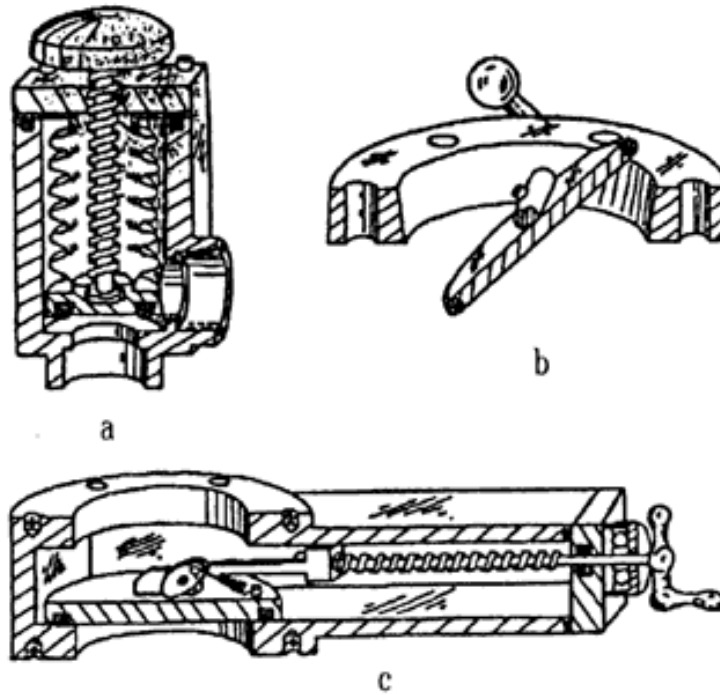


Figura 2.25: Válvulas de metal²⁵.

2.2.5 LA IMPORTANCIA Y APLICACIONES DEL VACÍO

No estriba tanto en su generación, ni en el significado físico que tiene, sino en su gran utilidad que lo hace acreedor de un número enorme de estudios y usos.

Dependemos del vacío desde en el proceso fundamental de respirar, hasta en los más grandes adelantos industriales y científicos.

Debido a esto, en el presente capítulo nos proponemos dar una idea general de su amplio campo de aplicación.

En la tabla II se presenta una descripción de las aplicaciones del vacío, y a continuación se exponen de manera breve varias de ellas con la finalidad de profundizar un poco en los respectivos temas.

²⁵ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm

Tabla 2.4: Aplicaciones de las técnicas de vacío.

Situación física	Objetivo	Aplicaciones
Baja presión	Obtener una diferencia de presión	Levitar, moldear, levantar, transportar
Baja densidad molecular	Remover constituyentes activos de la atmósfera	Lámparas (incandescentes, fluorescentes, tubos eléctricos), fundición, recocido, empaquetado, encapsulado, detección de fugas
	Remover gases ocluidos o disueltos	Secado, deshidratación, concentración, degasamiento, liofilización, impregnación
	Disminuir la transferencia de energía	Aislamiento térmico, aislamiento eléctrico, microbalanza de vacío, simulación espacial
Camino libre medio grande	Evitar colisiones	Tubo de electrones, rayos catódicos, televisión, fotoceldas, fotomultiplicadores, rayos X, aceleradores, espectrómetros de masas, separadores de isótopos, soldadura de haz de electrones, calentamiento, microscopio electrónico, recubrimiento, destilación molecular
Periodos largos para la formación de monocapas	Obtener superficies limpias	Fricción, adhesión, estudios de emisión, pruebas de materiales para uso especial

Fuente: www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx

LOS FRENOS EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

La mayoría de los frenos automotrices constan de dos semicírculos que tienen una superficie de fricción y son presionados contra el interior del tambor, al cual está sujeto el aro de la llanta del vehículo.

El incremento en la velocidad y peso de los vehículos de los años cincuenta hizo difícil la operación eficaz de los frenos hidráulicos, por lo que la mayoría de los vehículos fueron equipados con sistemas de frenos de potencia; éstos se diferencian de los frenos hidráulicos en que el pistón del cilindro maestro es operado por un pistón y cilindro entre los cuales existe vacío, en lugar de la presión ejercida sobre el pedal del freno (véase la figura VII.4). El cilindro maestro y el cilindro de vacío forman una unidad. Cuando el conductor empieza a oprimir el pedal del freno, la válvula de control cierra los puertos atmosféricos. Al seguir oprimiendo, el pedal abre el puerto que conecta la entrada del vacío con el cilindro de vacío a la izquierda del pistón. La tubería de vacío está conectada a la entrada del múltiple de escape, y cuando la válvula de vacío abre el puerto se forma un vacío en el lado izquierdo del pistón. La presión atmosférica que actúa en el lado derecho del pistón causa que éste se mueva hacia la izquierda, ejerciendo así presión sobre el pistón del cilindro esclavo, lo cual ocasiona que las llantas frenen.

LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

El proceso de liofilización (secado mediante congelamiento) se usa para conservar ciertos productos químicos delicados, sustancias biológicas o tejidos. En este proceso, el material es congelado y en condiciones de alto vacío se elimina el agua sublimándola a vapor mientras el material se mantiene congelado. Esto permite establecer condiciones de temperatura y presión específicas para mantener el material sólido en el mejor nivel para una exitosa deshidratación y para favorecer una satisfactoria rehidratación.

Durante el proceso de liofilización la estructura celular de muchos materiales se mantiene esencialmente intacta y se preserva la característica básica del producto; mientras que en el caso de otros productos, su forma cambia a la de

un polvo, aunque se conservan sus características básicas. Este proceso es necesario para ciertos materiales en extremo delicados, pero también se usa en la elaboración de comida procesada. Por ejemplo, el primer uso importante fue en la producción de un mejor café instantáneo, seguido por el desarrollo de comida preparada, como carne.

Ésta puede ser liofilizada y transformada en un material de apariencia esponjosa que cuando es reconstituido al agregar agua, tiene mucho de la apariencia y sabor del material original.

Por último mencionaremos la aplicación en la transportación de verduras, las cuales se enfrían mediante un sistema de enfriamiento al vacío, produciendo la rápida evaporación de pequeñas cantidades de agua con el fin de evitar su pronta descomposición durante el transporte; algunos ejemplos de verduras que se someten a este proceso son: espinacas, lechugas y repollo.

EL TERMO

El termo es un recipiente de pared doble en el que el espacio entre ambas paredes es evacuado (está al vacío). Fue inventado por el físico y químico James Dewar en la década de 1890. Un recipiente se considera un termo cuando el envase de vidrio se protege con una cobertura metálica.

El termo se creó para preservar gases licuados y evitar la transferencia de calor del medio ambiente al líquido. El espacio entre las paredes de vidrio prácticamente no conduce el calor; la radiación se reduce a un mínimo mediante el aluminizado de las paredes internas del termo.

La vía principal por la cual se puede comunicar calor al interior de la botella es por el cuello, que es la única unión entre las paredes, el cual, en consecuencia, se hace del menor tamaño posible (Figura VII.5).

El aislamiento térmico se aplica tanto para conservar el frío como el calor, y por este medio es posible mantener la temperatura de un líquido por un periodo largo de tiempo.

LOS ENVASES

Los envases se fabrican dependiendo de las características del producto que se va a envasar; al diseñarlos se toman en cuenta cuatro aspectos importantes: el tipo de producto, su mercado, el problema de la producción y el costo de operación.

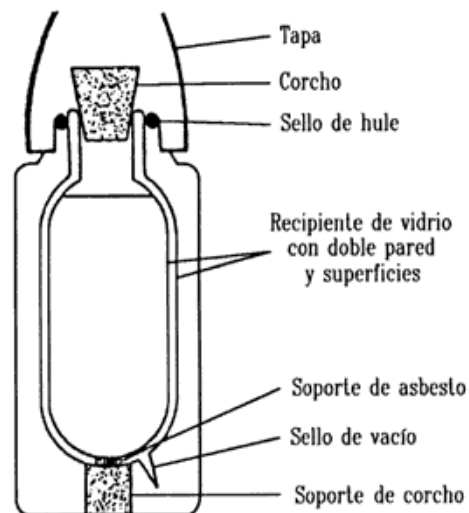


Figura 2.26: Envase al vacío²⁶.

En la industria alimenticia, el empaquetado y embotellado de los diferentes alimentos requiere varios tipos de envases para los productos resultantes del procesamiento, la esterilización, la pasteurización, así como deshidratación y congelamiento rápido.

Los envases metálicos o "latas", como comúnmente se conocen, y los contenedores de plástico como botellas y tarros se llenan al vacío (entre otras técnicas de llenado). Esto se hace con la intención de conservar las propiedades químicas y físicas del producto y evitar un crecimiento microbiológico contaminante en el mismo.

El llenado al vacío es la forma más limpia, eficiente y económica de manejar muchos productos. Por ejemplo, a pesar del cuidado que se tiene en la fabricación y en la limpieza de las botellas, siempre existe un porcentaje de agujeros, astillas y agrietamientos. Las máquinas para llenar al vacío detectan de manera automática estos defectos.

²⁶ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm

El sistema de vacío requiere de un tanque de alimentación que se encuentra por debajo del nivel de las botellas que serán llenadas; del tanque de alimentación sale la tubería que se une al conector que hará contacto con la boca de la botella, así como la línea del receptor de sobreflujo. Cuando la máquina se enciende, se crea un vacío en el receptor de sobreflujo y hace succión sobre el conector. Cuando la boca de la botella entra en contacto con el conector se forma un vacío dentro de la botella (siempre y cuando la botella no tenga imperfecciones). El vacío succiona el líquido del tanque de alimentación a través del conector, llenando la botella. Al llegar el líquido al receptor de sobreflujo, automáticamente se corta el vacío, causando la detención inmediata del líquido. Entonces, el conector se separa de la botella y ésta pasa a la siguiente etapa. Con este sistema no es necesario lavar o limpiar la parte externa de las botellas antes de etiquetarlas, ya que pone la cantidad correcta de producto sin derramarlo.

LOS CONCRETOS

El concreto es un producto endurecido creado al mezclar material granular (arena, grava o piedra) químicamente inerte, con cemento y agua. Ha sido empleado como material de construcción durante siglos, pues en la mayoría de las civilizaciones han existido depósitos naturales de cemento. En vestigios encontrados de civilizaciones de la zona mediterránea se descubrieron restos de concreto del tipo usado en las construcciones romanas, los cuales se consideran los primeros indicios de construcciones de concreto.

Los diversos tipos de concretos para propósitos estructurales diferentes se identifican por la naturaleza del agregado, el cemento y ciertos atributos especiales o tratamientos. Entre los tipos de concreto existentes se encuentra uno que es elaborado en condiciones de vacío, llamado "concreto tratado al vacío".

Este concreto es sometido a una succión inmediatamente después de haber sido puesto en un molde. En tal proceso se extrae parte de la humedad dejando un concreto más seco que, pasado un tiempo, alcanzará una dureza mucho mayor que la del concreto común. Esto hace que se use ordinariamente

un proceso de vacío en la fabricación de losas de concreto y productos similares hechos con prensas hidráulicas.

LAS CENTRÍFUGAS

Una centrífuga es una máquina en la cual se separan partículas sólidas o líquidas con diferentes densidades, por rotación a alta velocidad en un recipiente cilíndrico. En la actualidad está muy extendido el uso de estas máquinas para la concentración y purificación de materiales en suspensión o disueltos en fluidos.

La concentración de materiales en suspensión se logra debido a que las partículas sólidas son, en general, más densas que las líquidas. Al girar el recipiente, el líquido tiende a viajar a la periferia en donde encuentra el rápido desalojo del sistema, mientras que las partículas sólidas se agrupan en el centro de rotación.

En términos generales, las centrífugas se clasifican en tres categorías dependiendo de si la escudilla del vaso rotatorio tiene pared sólida, perforada o si es una combinación de ambas. En la industria hay varias clases de centrífugas, como las centrífugas de botella, las centrífugas tubulares, las centrífugas tipo disco, las de filtro, y las ultracentrífugas al vacío.

Las centrífugas industriales funcionan mediante el giro de un rotor, estando el material a presión atmosférica. Al aumentar la velocidad del rotor, la temperatura puede llegar a aumentar por arriba del punto de ebullición del agua, lo que afecta el sistema y la sustancia con que se está trabajando. Esto hace que se usen a velocidades moderadas.

Las ultracentrífugas, que es el caso que atañe a nuestro estudio, funcionan al vacío. La presión que rodea al rotor es ahora menor que 10^{-6} torr y por medio de un termostato en la cámara de vacío se controla la baja temperatura existente ($\sim 1.5^{\circ}\text{C}$), por lo que la cámara queda libre de gradientes térmicos. Este tipo de ultracentrífugas es indispensable en laboratorios donde se necesita purificar sustancias de importancia en bioquímica, biofísica, biología y medicina. La ultracentrífuga presentada en la figura VII.6 puede tener dos usos:

para determinar pesos moleculares de varias proteínas y para purificar materiales biológicos que no pueden ser separados con facilidad por medio de otras técnicas.

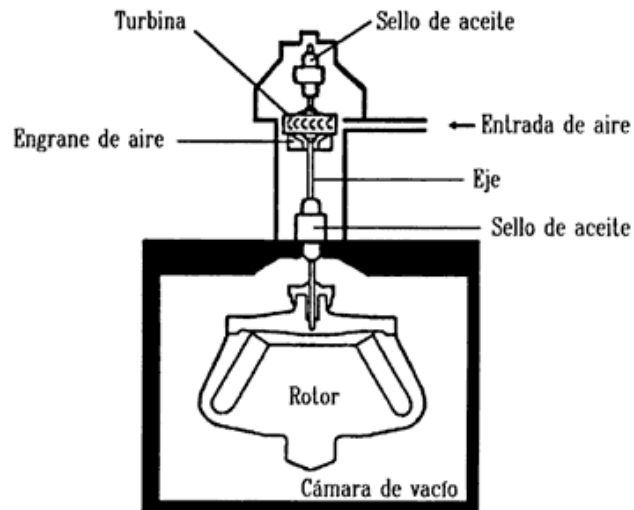


Figura 2.27: Ultracentrífuga de tipo vacío²⁷.

LOS CIRCUITOS INTEGRADOS

Un circuito integrado es una combinación de elementos electrónicos interconectados, tales como transistores y diodos, que están inseparablemente asociados con una base continua de material (sustrato). Generalmente los elementos de un circuito son de tamaño microscópico, por lo que también se usa el término de microcircuitos. Los beneficios de los circuitos eléctricos incluyen: menor tamaño, bajo consumo de energía, mayor velocidad de operación y reducción de costo.

Los tres tipos básicos de circuitos integrados que existen son: el circuito integrado monolítico, el circuito integrado multi-chip y los circuitos integrados en película, cuyos elementos son películas formadas sobre sustratos aislados. Las películas se hacen evaporando el material que la formará en un sistema aislado, al vacío, que también contendrá al sustrato. El material se vaporiza y se condensa sobre el sustrato. Este tipo de circuitos se utilizan para la fabricación de componentes para electrónica pasiva; por ejemplo, arreglos de resistencias (partes que impiden el flujo de corriente eléctrica) y capacitores

²⁷ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm

(partes para restaurar la carga eléctrica). Este tipo de circuitos puede ser de películas gruesas o de películas delgadas, dependiendo principalmente de la técnica empleada para el depósito.

2.2.6 LOS MATERIALES AL VACÍO

Es importante para la tecnología el desarrollo y estudio de materiales que puedan ser utilizados a presiones menores que la presión atmosférica. Cada material tiene características propias, y algo fundamental de éstas es que varían según las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto. Los materiales utilizados en los sistemas de vacío se seleccionan cuidadosamente, considerando de antemano sus propiedades. Los siguientes son algunos parámetros que se toman en cuenta:

Degasamiento. Este término indica la evolución natural de gases absorbidos (moléculas de gas dentro de un material) o adsorbidos (adhesión de moléculas de gas a la superficie del material) en vacío, y puede provenir de tres fuentes diferentes: evaporación (o descomposición química), desorción de superficies, y difusión fuera del material. Todos estos pasos elementales forman una reacción química sobre una superficie. El degasamiento es, en este caso, una de las interacciones entre una superficie y un gas (Figura B.1).

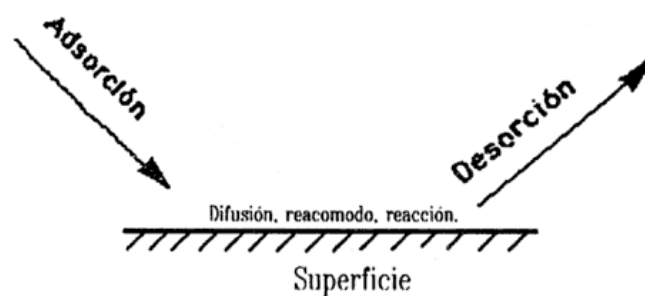


Figura 2.28: Esquema de procesos elementales durante las interacciones gas-superficie²⁸.

Se pueden calcular las proporciones de evaporación (cambio de fase de sólido o líquido a vapor) y equilibrio de la presión de vapor de los metales elementales a partir de relaciones termodinámicas.

²⁸ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_13.htm

Las proporciones de evaporación para aleaciones no son predecibles como en el caso de los elementos simples, aunque las proporciones de evaporación de los metales que componen la aleación nos dan una base de estimación. En la fabricación de equipo para alto vacío se usan metales que tienen una baja presión de vapor; los más utilizados son el acero inoxidable, el cobre, el bronce, el acero y el aluminio.

El proceso de desorción de la superficie es la expulsión de una molécula adsorbida en la superficie, con lo cual se propicia el degasamiento del material.

La difusión fuera del material es la emigración de átomos o moléculas adsorbidas a lo largo de una superficie hasta que abandonan dicho material.

Permeabilidad.- La permeabilidad de un material es una medida de la cantidad de gas (a una temperatura dada) que podrá difundirse a través de él por unidad de tiempo. Hasta hoy, no es posible obtener un valor absoluto de permeabilidad para cada material, ya que es afectada por las diferencias de presión, temperatura, pureza y las condiciones de superficie del material.

Para determinar la permeabilidad en los materiales se hacen exámenes en condiciones ambientales controladas.

Propiedades de adhesión (pegamento).- Para unir las componentes y formar un sistema de vacío, es necesario considerar el tipo de materiales que nos pueden servir para soldar, fundir o enlazar de manera que no tengamos una reacción química desfavorable en nuestro sistema. En general, para obtener un vacío óptimo lo que se pretende es no tener fugas (entradas de aire).

Economía.- Los costos son un factor fundamental al considerar los materiales con los que fabricaremos un sistema de vacío, ya que existen materiales de bajo costo inicial, pero de alto costo al procesarlos, lo que los hace totalmente incosteables.

Los materiales usados con más frecuencia en las técnicas de vacío se presentan en la siguiente clasificación:

Generales

- **Acero.** El acero templado es un acero sin tratamientos térmicos y de bajas concentraciones de carbón. Estos tipos de acero templado con bajo contenido de azufre son usados con frecuencia en sistemas de vacío. Se encuentran disponibles en diferentes formas y pueden ser unidos, fundidos o soldados. Se utilizan en los sistemas de vacío por su baja presión de vapor y como recubrimiento en las bombas de mercurio, ya que no es afectado por el vapor de Hg. Sin embargo puede ser afectado por la corrosión debido a la adsorción de vapor de agua.
- **Acero inoxidable.** Es más resistente a la corrosión que el acero. Es una aleación de cromo y acero y se emplea en forma de tubos, platos, cámaras y extensiones. Para trabajos de vacío no es recomendable el acero inoxidable de la serie 303 ya que contiene azufre. Por otra parte, la serie 300 es muy utilizada en sistemas de ultra alto vacío; su conductividad térmica y eléctrica es baja, no es magnético, y las temperaturas a que se exponen los sistemas de este tipo no deben de exceder los 1 000°C, porque el cromo se comienza a evaporar a los 1 200°C.
- **Aluminio.** Es de poco peso, fuerte, resistente a la corrosión con una baja presión de vapor, barato, fácil de trabajar, y fácilmente obtenible en las formas más comunes, como tubos, hojas, barras, etcétera.
- **Bronce.** Es esencialmente una aleación de cobre y estaño. Es fácil de trabajar y con él se construyen algunas válvulas.
- **Cobre.** Ocasionalmente se usa para electrodos no magnéticos, sirve también para sellos anulares de vidrios y bridas. Tiene una densidad de 8.8 a 8.9 g/cm. Su punto de fusión es de 1083°C.

- **Vidrio.** El vidrio más comúnmente usado en los laboratorios de sistemas de vacío es un borosilicato conocido como Pyrex. Se construyen envases, cámaras, ventanas; etcétera.

Metales especialmente refractarios

- **Molibdeno.** Tiene un punto de fusión alto (2 620°C), por ello se usa con frecuencia para filamentos, botes, y depósitos en los cuales el material será evaporado al vacío. Otro uso es para bombear metal activo a muy bajas presiones. El molibdeno se oxida con rapidez cuando se calienta en el aire.
- **Tungsteno.** Su punto de fusión está catalogado como el más alto de cualquier metal (3 382°C). Es difícil de trabajar, pero se encuentra disponible en hojas y alambres que pueden ser procesados en frío para tiras de calentadores y filamentos. El tungsteno se oxida rápidamente cuando es calentado en la atmósfera, y emite electrones a temperaturas superiores a los 2 000°C. Se usa con frecuencia como filamento en los medidores de presión por ionización, electrodos y anticátodos para tubos de rayos X. Tiene una densidad de 19-19.4 g/cm.
- **Tántalo.** Es más dúctil que el molibdeno y el tungsteno pero más costoso. Resiste el ataque de ácidos y se utiliza en la construcción de botes, chalupas y filamentos para depósito de películas delgadas en vacío, además de calentador de elementos en vacío y actúa como colector de los 600 a los 1 000°C. Tiene un punto de fusión de 2 996°C.

Cerámicas

Las cerámicas son usadas como aislantes térmicos o eléctricos en altas temperaturas. Se emplean para sostener piezas que van a calentarse en la construcción de cámaras para alto vacío. También son aislantes en las tapas de acero de las cámaras, donde se colocan las barras de metal que atraviesan la cámara conectando el interior de la misma con el exterior.

Los tipos de cerámica más usados en sistemas de vacío son: alúmina, porcelana, lava y zafiro. A continuación se da una descripción breve de estos tipos de cerámica.

- **Zafiro.** Es la presentación más pura del óxido de aluminio. Se puede obtener en forma transparente para usarse como ventanas en sistemas de vacío, las cuales se pueden exponer a temperaturas de 1 900°C. La transmisión infrarroja del zafiro es mejor que la de otros materiales. El zafiro es producido en forma de monocristales y puede ser sellador de vidrio.
- **Porcelana.** Contiene tres ingredientes principales: arcilla, pedernal y feldespato; variando las proporciones de estos materiales, cambian ciertas propiedades de la cerámica, como su resistencia a choques térmicos, resistencia dieléctrica o mecánica. La porcelana se encuentra disponible en diámetros y longitudes estándar con roscas de tornillo en las puntas. La temperatura máxima a la cual opera la porcelana es cercana a los 1 000°C.
- **Lava.** Cerámica hecha de talco natural, puede operar a temperaturas entre los 1 000 y 1 200°C.
- Otro tipo de materiales importantes en la tecnología de vacío son los plásticos y los cauchos. Para los plásticos se consideran las condiciones a las que serán expuestos, la cantidad de uso ha de dárseles, cómo y dónde se emplearán, la temperatura a la que estarán expuestos y si formarán una parte permanente o temporal en el sistema. Algunos plásticos especiales que tienen una alta presión de vapor son los acrílicos y los fluorocarbonos.
- Los cauchos se dividen en caucho natural y caucho sintético. Algunos de los cauchos sintéticos son: nitrilo, neopreno, butil y GRS.

2.2.7 FUGAS EN EL VACÍO.

Una fuga (entrada de aire) sube la presión base del sistema y deteriora el vacío. Cuando ocurre una fuga a presiones arriba de 10^{-6} torr, es común encontrarla en lugares como la pared externa de la cámara. Para localizarla se

usa un líquido o vapor para el cual la sensibilidad del medidor o la velocidad del bombeo son muy diferentes a la del aire bombeado.

Con una piseta de acetona o alcohol etílico, o una lata de aerosol de freón líquido se moja la superficie que se quiere probar. Estos líquidos usualmente causan un cambio abrupto en la presión indicada mientras fluyen por la fuga.

Una desventaja de este método es que el solvente puede contaminar o dañar los sellos circulares.

En sistemas de alto y ultra alto vacío se puede usar helio para detectar fugas, ya que los medidores de ionización son poco sensibles a este gas y la presión decae al ser introducido el gas por la fuga.

En un sistema de vidrio, una fuga que sube la presión a un valor entre los 10 mtorr y varios torr puede ser localizada a través de una bobina tesla. La superficie del vidrio es barrida con la descarga de la bobina. La descarga será dirigida preferencialmente hacia la fuga y unas manchas brillantes blancas darán a conocer su localización al pasar la descarga por ella, aunque no es conveniente usar este método en paredes delgadas o en uniones de metal y vidrio, porque la descarga puede agujerar el vidrio.

Para fugas muy pequeñas en sistemas de ultra alto vacío se necesita utilizar un espectrómetro de masas como detector.

Características de los gases para atmósfera modificada

Nitrógeno. Es un gas totalmente inerte que lleva a cabo un efecto básico de eliminación del oxígeno presente, con lo que imposibilita el crecimiento de los microorganismos aerobios presentes en el medio, no así el de los llamados anaerobios.

CO₂. También desplaza el oxígeno del aire con idéntico efecto al del nitrógeno. Además se disuelve en el agua dando lugar a una ligera reducción del pH del medio. Es, asimismo, bacterioestático y fungistático, con lo que permite frenar el crecimiento de todos los microorganismos, sean aerobios o anaerobios.

En frío se disuelve mejor con lo que aún incrementa sus efectos. Puede provocar un cierto "vacío" extra por su disolución en el producto.

Oxígeno. Este gas sólo se emplea cuando resulta imprescindible ya que su presencia es la que acorta el tiempo de conservación de los diversos productos a envasar. Su uso se suele restringir a la conservación del color de las carnes rojas y a la conservación de hortalizas frescas, empleándose en estos casos en pequeñas concentraciones.

2.2.8 GASES QUE EMANAN LOS POLÍMEROS.

Como los envases de PET no contienen halógenos, azufre o nitrógeno, los productos de la combustión completa son compuestos que contienen hidrógeno, oxígeno y carbono.

En su forma básica, el PET está compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno. El PET no contiene halógenos (cloro o bromo), sulfuro, o nitrógeno.

En la medición de emisiones de gases que provocan efecto invernadero, los envases de PET mostraron las emisiones más bajas, con 142,4 kilos por cada 1.000 unidades, aproximadamente 113,4 kilos menos que el aluminio y 81,6 menos que el vidrio.

2.2.9 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DEL RECICLADO DE PET.

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases.

Pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado.

Se caracterizan por una alta relación resistencia y densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticos (se

ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (no se ablandan con el calor).

Polietileno duro:

Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no toxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos. Tiene una resistencia a la tracción de 25 N/mm² y una densidad de 0.94 g/cm³. Su temperatura de ablandamiento es de 120° C. Aprox. Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, botellas, etc. Todos ellos son productos de gran resistencia y no atacables por los agentes químicos.

Polietileno blando:

Es un polímero con cadenas de moléculas menos ligadas y más dispersas. Es un plástico incoloro, inodoro, no toxico, más blando y flexible que el de alta densidad, por otro lado es menos resistente tiene una resistencia a la tracción de 10 N/mm². Se ablanda a partir de los 85 °C. Aprox. Por tanto se necesita menos energía para destruir sus cadenas. Aunque una de sus más valiosas propiedades es la de ser un buen aislante. Lo podemos encontrar bajo las formas de transparentes y opaco. Se utiliza para bolsas y sacos de los empleados en comercios y supermercados, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos, juguetes, etc. Que requieren flexibilidad.

2.2.10 APLICACIONES INDUSTRIALES DEL RECICLADO DE PET.

Alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado (stretch blow-molded) en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo.

El PET también puede ser depolimerizado a través de metanólisis o glicólisis. Dichos procesos someten al PET a una reacción química que lo reduce a sus monómeros o a sus materias primas originales. El resultante luego es

purificado o vuelto a reaccionar, dando un nuevo PET que puede usarse para envases de alimentos, etc.

En algunos lugares, el PET es usado para envases de alimentos a través de su transformación en la lámina central de una estructura multilaminada o por limpieza especial.

La incineración resulta una alternativa de reutilización del PET ya que tiene un alto valor de incineración de 10.000 BTU por libra, una cantidad que se compara al carbón.

En términos de consumo energético, el PET también presentó el mejor comportamiento, con 3,225 MJ por 1.000 unidades, frente a 3,917 MJ del aluminio y los 4,227 MJ del vidrio.



Figura 2.29: Aplicaciones del reciclado de PET²⁹.

²⁹ <http://reciclajepet-isabel.blogspot.com/2009/04/educacion-ambiental.html>

2.2.11 REQUISITOS ÓPTIMOS PARA EL PROCESO DE RECICLADO DE PET.

En los materiales plásticos post-consumo, se pueden presentar complejidades como la presencia de contaminantes, la variación en la composición del material, la mezcla de diferentes materiales plásticos o la combinación plástico-metal, plástico-papel, entre otras.

Este proceso consiste, de manera muy esbozada, en un proceso de extrusión combinado con alto vacío y posterior cristalización y secado para mantener la viscosidad intrínseca (IV) del material de entrada o incluso incrementar el IV. Es importante resaltar que la calidad del producto obtenido (gránulos y botellas) depende del buen desempeño del proceso de limpieza de escamas, así como de una buena calidad del material de entrada a dicho proceso (botellas de bebidas sodas y agua post-consumo).



Figura 2.30: Esquema del proceso utilizando la tecnología Vacurema³⁰.

En este caso es muy importante la etapa de procesamiento responsable de la calidad del producto final, en donde un componente clave es el reactor ubicado inmediatamente antes de la extrusora. En el reactor el plástico se mezcla, calienta, seca y cristaliza simultáneamente en una sola etapa. Con un tiempo de residencia apropiado a alto vacío y alta temperatura, la humedad residual se extrae rápida y eficientemente para una mínima pérdida de IV. No se requiere

30

http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_68363_HTML.html?idDocumento=68363

secado previo del material. Se alimenta el material a la extrusora de manera continua y segura, de forma tangencial y forzada.

El husillo de la extrusora transporta el material, lo plastifica, le confiere homogeneidad, lo desgasifica y lo conduce a un sistema con una gran superficie de filtrado fino provisto de auto-limpieza automática integrada.

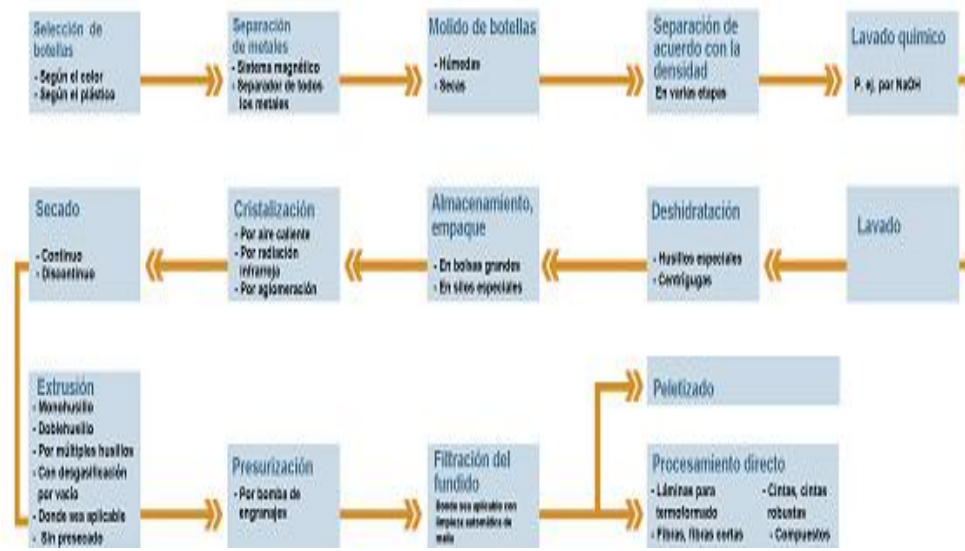


Figura 2.31: Proceso recomendado para el reciclaje del PET³¹.

2.2.11.1 Humedad

El secado, así como la polimerización de estado sólido de PET reciclado, requiere un gas caliente con bajo contenido de partículas, humedad y materiales orgánicos volátiles.

El grado de humedad puede rebajarse fácilmente mediante un proceso de secado por aire.

Pueden usarse también secadores centrifugados, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo.

³¹ <http://www.plastico.com/b2bportales/N07A.jsp?URL=/tp/formas/74452/1-400.jpg&PIE=Figura+1%3A+Diagrama+de+flujo+esquem%El+tico+para+el+reciclaje+de+botellas+de+PET>

2.2.11.2 Control de contaminación.

El reemplazo de contenido virgen con reciclado de PET ahorra energía, reduce residuos y baja las emisiones de gases invernadero. En la mayoría de los casos se podrían usar porcentajes más altos de contenido reciclado, pero la demanda de materiales reciclados excede al suministro.

Es por eso que varias compañías están trabajando para impulsar las velocidades de recolección y de reciclado. Por ejemplo, Coca Cola se comprometió recientemente a reciclar el 100% de sus latas de aluminio y los recipientes de

PET que usa. La compañía también apoya programas de reciclado y ha invertido en una planta de reciclado de PET, para proveer PET reciclado grado alimenticio (RPET) para sus recipientes.

En la línea de envasado cambiar de un PET virgen a un recipiente RPET debe requerir pocos, si no es que ningún ajuste. Sin embargo, el moldeado por inyección o la extrusión de película puede necesitar aditivos para mejorar la capacidad de proceso y las propiedades, así como equipo especial de secado y filtración.

Algunas recomendaciones para un eficiente reciclado del PET son las siguientes, de acuerdo a la parte de la botella:

a) La tapa, el arillo de seguridad y su empaque (liner o sello)

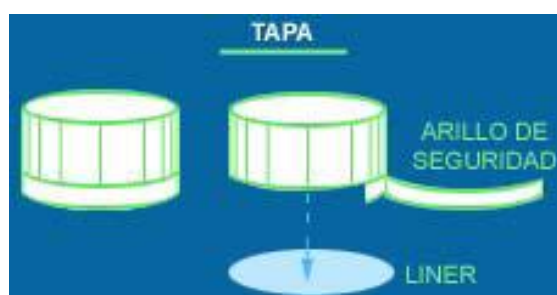


Figura 2.32: Tapa, arillo y empaque³².

³² <http://www.plastidel.com.do/productos.php?det=tapas&cat=linea%20industrial>

Se recomienda que el arillo de seguridad se desprenda del cuello del envase y el empaque de la tapa (liner) se quede en la tapa a la hora de abrir el envase. También se recomienda que la tapa, el arillo de seguridad y el liner sean de: Polipropileno (PP) o Polietileno de alta densidad (HDPE). Estos materiales son preferibles al aluminio y a otros materiales. El PVC no es recomendable porque una pequeña cantidad de PVC puede contaminar grandes cantidades de PET dispuesto para su reciclado por su diferente temperatura de fusión o ablandamiento.

b) Las etiquetas

Es preferible usar etiquetas de alguno de los siguientes materiales: Polipropileno (PP), Polietileno orientado (OPP), Polietileno de alta, media o baja densidad (HDPE, MDPE, LDPE) y Papel. Las etiquetas metalizadas dificultan el reciclado de cualquier plástico, pues al contener metales lo contaminan. Las etiquetas deben poder desprenderse en el proceso de lavado del reciclador, por lo que es importante seleccionar un adhesivo conveniente y evaluar las etiquetas termoajustables o a presión. Los sistemas de impresión serigráfica provocan que el PET reciclado y granulado tenga color, disminuyendo sus posibilidades de uso, mercados y precio. Se recomienda evitar pigmentos de metales pesados.

c) El color

La botella de PET transparente sin pigmentos tiene mejor valor y mayor variedad de usos; sin embargo, con una separación adecuada, el PET pigmentado tendrá ciertos usos.

d) Las multicapas o recubrimientos

Las capas que no son de PET en los envases multicapa, así como los recubrimientos de otros materiales, reducen la reciclabilidad del PET. Es necesario separar esta clase de envases de los de PET simple.

e) Las bandas de seguridad (mangas) y sellos

Estos son generalmente incluidos en el diseño del producto envasado en PET, cuando se consideran necesarios, pero contaminan el PET para reciclar si no son removidos del envase desde la selección y separación del mismo. Se recomienda no utilizar PVC para fabricar estos elementos.

2.2.11.3 Soluciones de contaminación.

Entre las soluciones para evitar la contaminación y sobre todo el Calentamiento Global en nuestro planeta sería motivar a todas las personas en reciclar todo tipo de basura no solo el plástico sino todo lo que esté relacionado con la contaminación de nuestro planeta como el papel, las pilas viejas, envases de productos alimenticios etc.

La falta de educación por parte de los consumidores en el tema del reciclaje afecta mucho, y sobre todo esta aumentado cada día más en lo que tiene que ver con el calentamiento global a causa de estos desperdicios arrojados tanto en la tierra como en el mar.

Finalmente es posible, que todos nosotros podamos contribuir al reciclaje y hacer una gran cantidad de cosas para desarrollar un mercado en el que participen la industria, el gobierno ecuatoriano y desde luego el ciudadano ya que es el máximo consumidor de bebidas.

En lo que todos debemos estar de acuerdo es en una cosa: Después de consumir una bebida, separar la tapa y el anillo de plástico que sujeta, apachurrar o aplastar el envase y luego depositarlo en la basura con su eslogan correspondiente (renovable o no renovable).

Con eso, por lo pronto, es suficiente para por lo menos solucionar de alguna manera la contaminación en nuestro planeta.

2.3 MARCO CONTEXTUAL

2.3.1 EXTRUSIÓN DEL PET.

EXTRUSIÓN

La extrusión es responsable de un mayor volumen de producción, ya que se usa no solo para la producción de barras, tubos, láminas y películas en materiales termoplásticos, sino también para el mezclado minucioso de todas las clases de plásticos y para la producción de gránulos.

La extrusión con embolo se restringe en casos especiales, la primera diferencia importante en relación con la extrusión de metal es el uso de extrusores de tornillo.

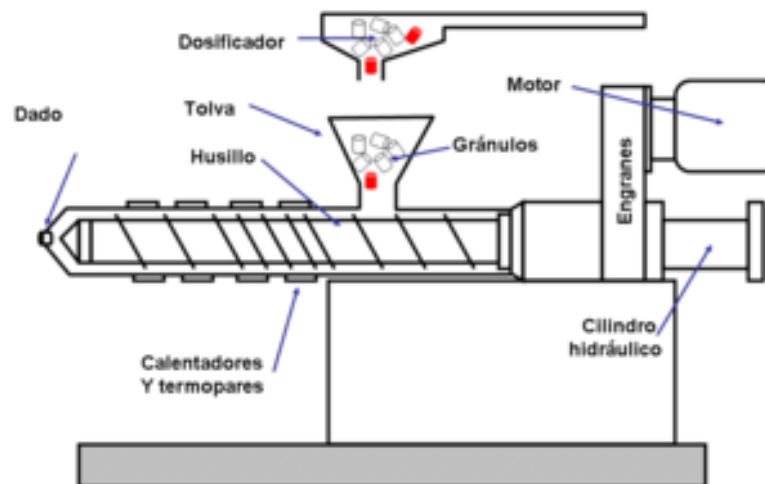


Figura 2.33: Diseño genérico de un extrusor³³.

Extrusores de tornillo

En su forma básica, el equipo es completamente estándar.

El polímero se alimenta a través de una tolva hasta el cañón, en el cual un tornillo helicoidal transporta el polímero hacia el extremo con matriz.

El tornillo tiene tres secciones-. La sección de alimentación de diámetro de raíz constante (profundidad constante de la cuerda) toma los gránulos o pastillas de

³³ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diseño_de_un_extrusor.png

la tolva de alimentación y los mueve a la sección de compresión (sección de fusión, sección de transición) en la que la cuerda cuya sección transversal se reduce gradualmente, comprimen los gránulos restablecidos.

El cortante viscoso suele generara calor suficiente para que el polímero este en la a la temperatura requerida; el cañón se calienta externamente para compensar las pérdidas de calor, o pueden enfriarse el cañón (o el tornillo) para evitar el sobrecalentamiento.

El diseño del tornillo es crítico. El ángulo de paso suele ser 17.5° , pero puede ser mayor para algunos plásticos.

La razón de compresión (la razón de las áreas al inicio final del tornillo, que varia por lo general de 2:1 a 4:1) y la longitud (o, en forma más propia, la razón longitud diámetro, que va de 16:1 a 32: 1) del tornillo se eligen con la debida consideración del polímero.

Los polímeros sensible al calor como el PVC se extruyen con cortante mínimo, en tanto que los que tienen puntos de fusión agudo como el nylon requieren una sección de medición larga y una sección de compresión corta.

Para una operación exitosa, las temperaturas de calentamiento y enfriamiento, la contrapresión, la velocidad del tornillo, la rapidez de inyección, etc. deben estar estrechamente controladas.

El control de la temperatura a lo largo del barril se vuelve aun mas critico cuando se usa un tornillo d propósito general de diseño característico para una variedad de plásticos.

El tornillo puede tener dos secciones, lo cual permite la descompresión cerca de la mitad del cañón, de manera que los gases se puedan ventilar, para posteriormente acumular presión nuevamente.

Para evitar que cualquier polímero sin fundir o que alguna basura atrapada entre la extrusión, se coloca una malla en la corriente del polímero.

A esta la soporta una placa de rompimiento robusta con números agujeros de cerca de 3 mm de diámetro.

La pantalla incrementa la contrapresión, mejorando de esta manera el mezclado y la homogenización; el flujo a través de la placa de rompimiento elimina la memoria de giro de la fusión.

Después, las corrientes de plástico se reúnen antes de ingresar a la matriz; la temperatura es suficiente alta para asegurar una continuidad completa.

Las presiones de entrada de la matriz son entre 1.5 y 15(y con menor frecuencia, hasta 70) MPa.

2.3.2 DIFICULTADES

La ductilidad del producto final, se puede ver afectado por la presencia de humedad y vapores volátiles que suelen aparecer en el proceso de extrusión del polímero.

El no tener el material adecuadamente plastificado al momento de extruír genera un gran problema pues la extrusión no es más que impulsar el plástico mediante de una bomba de desplazamiento positivo a través de un dado.

Debemos asegurar un flujo constante y uniforme de material, ya plastificado y a presión, a través del dado.

Si la presión en la extrusión es constante o estable, el proceso no necesariamente resultara de la misma manera.

- **Problemas de Plastificación:** Son fácilmente detectables, y sólo hay dos posibilidades: El material no se funde eficientemente, lo que provoca geles y fractura del plastificado; o el material se degrada, lo que provoca amarillamiento, puntos negros y humeo. El culpable: la zona de plastificación, que depende de la velocidad del extruder, más que del perfil de temperaturas (aunque influye).

- **Problemas de Mezclado y contaminación:** Si no tenemos un material perfectamente homogéneo y compatible en todos sus componentes, no es posible una extrusión eficiente. El regranulado suele provocar, al mismo tiempo, geles, carbonizaciones y fractura del plastificado (conocido como shark skin), por la alta heterogeneidad molecular del plástico.
- **Problemas de desgaste:** Clásico efecto del uso o del abuso de una parte del equipo que siempre está en movimiento: El husillo - cañón; “Todo lo que se mueve se desgasta”, el juego husillo - cañón no es la excepción. Regularmente no tratamos con respeto a esta parte primordial del extruder, y solemos desgastarlo prematuramente, con exceso de cargas abrasivas, materiales contaminantes abrasivos, metales ferrosos y malas condiciones de operación.
- **Problemas de Flujo:** El flujo del material plástico no es uniforme y constante. Si el material no está perfectamente mezclado, partes de éste presentan viscosidad diferente y, por ende, su velocidad de flujo no es uniforme. Si hay desgaste del equipo, sus partes no empujan al material con la misma fuerza y no se desarrolla, en ese punto, una presión constante, por lo tanto el flujo no es uniforme. Si el material no está uniformemente fundido, el movimiento de un sólido es diferente al de un líquido no newtoniano y el flujo no es uniforme.

2.3.3 SOLUCIONES.

Es importante controlar la rapidez y la uniformidad del enfriamiento, para reducir al mínimo la contracción y la distorsión del producto.

Es prácticamente imposible extruir un sólido, de ello se encarga la zona de plastificación, que por medio de fricción, compresión y temperatura, hace pasar al material del estado sólido a líquido viscoso.

- **Plastificación:** Simplemente se debe formular de manera correcta la materia prima (aditivos, exceso de regranulados, mezclas mal hechas) para poder evitar las contrariedades de la plastificación.

- **Mezclado y Contaminación:** Sólo basta tener en cuenta que el mezclado se da en el momento en que la materia prima plástica pasa a ser un líquido viscoso; cuando las cargas y la mayoría de los pigmentos son sólidos, por lo que se debe mezclar un sólido con un líquido. Los defectos también son fácilmente detectables, y se relacionan con la función que deberían de cumplir los aditivos agregados: ráfagas, mala dispersión, bajas propiedades mecánicas, son sólo algunos ejemplos.
- **Desgaste:** Se debe controlar el uso de la extrusora, tener en cuenta el juego de sus componentes y materiales que se ingresan a ella, controlando que no sean demasiado abrasivos. Para ello, la empresa Beutelspacher S.A. ha desarrollado un método infalible para detectarlo.
- **Flujo:** Todo redunda a un mismo problema, flujo uniforme y constante del material fundido. Si logramos comprender que el flujo del plástico es la esencia del proceso y que existen dos palabras mágicas en todo el proceso: UNIFORMIDAD y CONSTANCIA, habremos resuelto el “trabuco” de la extrusión y podremos enfilarnos ya no a resolver problemas, sino a desarrollar aplicaciones e innovación en extrusión...

CAPITULO 3

ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 RESTRICCIONES DE DISEÑO.

La desgasificación del plástico no puede llevarse a cabo en el tornillo de extrusión del PET, se va a realizar previo a la alimentación hacia la extrusora.

Durante la desgasificación debe mantenerse una alimentación continua de PET hacia el tornillo de extrusión.

La desgasificación del PET se lleva a cabo cuando éste pasa de estado sólido a líquido pues los gases volátiles aparecen durante dicha transición.

Las dimensiones de la boca de salida del desgasificador estarán de acuerdo a las dimensiones de la boca de alimentación hacia la extrusora.

La presión de vacío debe ser la necesaria para succionar los gases y vapores generados sin estorbar el libre recorrido de PET hacia el tornillo de extrusión.

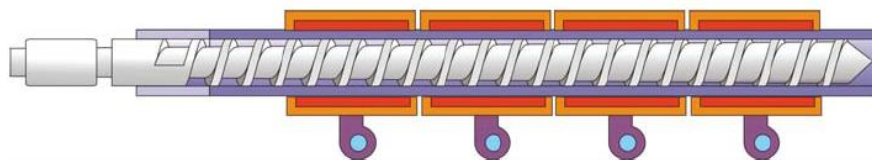


Figura 3.1. Sistema cilíndrico de Calefacción – Tornillos³⁴.

³⁴ <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

3.2 ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN.

Alternativa 1:

Desgasificar directamente dentro de la extrusora, es el método más rápido pero requiere de modificaciones en el diseño original como son perforaciones en el cilindro de calefacción de tornillos y una reducción en el tornillo para lograr que la presión en la zona de desgasificación sea la atmosférica de manera que los gases puedan evacuar sin que escape el plástico.

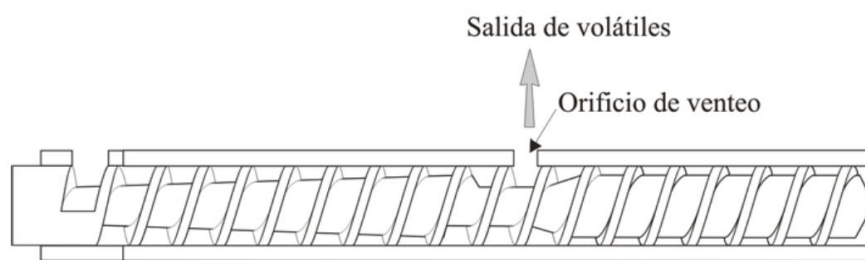


Figura 3.2. Sección de desgasificación³⁵.

Hay que tener cuidado con el diseño del tornillo de manera que permita que la zona de desgasificado este siempre llena y el plástico no escape por el orificio de venteo.

Alternativa 2:

Consiste en realizar la desgasificación en un proceso previo a la entrada al tornillo de extrusión, con esto se evita realizar modificaciones al diseño original de la extrusora aunque la desgasificación tardara mas en realizarse.

La desgasificación se realiza en un tanque de desgasificación al vacío que consta de una entrada para la alimentación de los pellets y una salida para los gases y vapores producidos durante la fundición de dichos pellets que son extraídos mediante una bomba de vacío, dichos gases son previamente pasados por un filtro para reducir el porcentaje partículas finas y restos de humedad en los gases que entran a la bomba y disminuir el efecto contaminante de los mismos hacia el ambiente.

³⁵ <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

3.3 MATRIZ DE SELECCIÓN.

Se van a definir algunos parámetros de evaluación como su función e importancia.

Tabla 3.1: Matriz de análisis de valor

Ord.	Parámetros de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P	W.F.
1	Seguridad	--	1	--	1/2	--	1	1	--	--	1	1	5.5	0.10
2	Garantía	1	--	--	1	1	--	--	1	½	1/2	1	6	0.11
3	Eficacia		1/2	--	1	1	--	1	--	1	1	--	5.5	0.10
4	Mantenimiento	--	1	--	--	--	1	1/2	1	1	1	1	6.5	0.12
5	Repuestos	1	1		--	--	--	1	--	--	1	--	4	0.07
6	Capacidad del vacío	--	½	--	1	--	--	1	1	--	1	--	4.5	0.08
7	Manufactura	--	1	--	1	1/2	1	--	1	1	--	1	6.5	0.12
8	Costo de construcción	--	--	--	1	--	1	--	--	1	1	--	4	0.07
9	Maniobrabilidad	--	1	--	--	1	1	--	1	--	1	1	6	0.11
10	Rendimiento	----	1--	--	--	--	1	--	--	1	--	1/2	3.5	0.06
11	Montaje	--	--	--	1	--	1/2		--	1	1	--	3.5	0.06
													Σ =76.5	1,00

A continuación se analizarán las diferentes alternativas mediante una *matriz de decisión* la cual nos mostrara la mejor alternativa de construcción para nuestro proyecto de tesis.

Tabla 3.2: Matriz de decisión

Parámetros de evaluación	W.F	Alternativa 2			Alternativa 1		
		Descripción	R.F.	Cal.	Descripción	R.F.	Cal.
Seguridad	0.10	Manufactura de calidad, operación y control	10	0.10	Poca confiabilidad bajo condiciones de operación	10	0.05
Garantía	0.11	Alta confiabilidad en el funcionamiento de cada elemento	9	0.11	Baja confiabilidad de funcionamiento	6	0.05
Eficacia	0.10	Mejores resultados al momento de funcionar	10	0.10	Dudas en lo resultados al momento de funcionar	8	0.1
Mantenimiento	0.12	Mejor accesibilidad a todas las partes del desgasificador.	10	0.12	Dificultad a acceso de algunas partes del desgasificador.	6	0.13
Repuestos	0.07	Existen repuestos en stock al alcance.	10	0.07	Existen pero su costo es un poco elevado	7	0,05
Capacidad del vacío	0.08	Mejor desgasificación	10	0.08	Mejor desgasificación	8	0,08
Manufactura	0.12	Mayor facilidad de construir y montar.	9	0.12	Mayor complejidad de construcción	8	0,07
Costo de construcción	0.07	Costos accesibles.	10	0.07	Costos un poco elevados	10	0,07
Maniobrabilidad	0.11	Mejor facilidad de operar-	10	0.09	Complejidad de operación	7	0,05
Rendimiento	0.06	Mejor durabilidad y operación de vida.	9	0.06	Desgasificación mínima.	10	0,03
Montaje	0.06	Facilidad de montaje y desmontaje	8	0.06	Montaje complejo	7	0.05
			X1	0.96		X2	0.68

3.4 VARIABLES DE DISEÑO.

Las variables de diseño se dividirán de acuerdo al equipo utilizado, ya sea la bomba de vacío o el tanque de vacío.

Tanque de vacío:

- Presión de diseño.
- Presión negativa de vacío.
- Espesor de pared del tanque.
- Agujeros para las tuberías.
- Agujero para la válvula.
- Esfuerzo del material.
- Eficiencia de la junta soldada.
- Radio exterior del tanque.
- Radio de bombeo.
- Radio de rebordeo.
- Corrosión admisible.

Bomba de vacío:

- Presión última.
- Efecto de la contaminación.
- Tiempo en que se debe mantener la presión.
- Velocidad volumétrica de bombeo.
- Presión de admisión.
- Peso promedio de las partículas de PET.

3.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

- Ductilidad del producto final del reciclado.
- Mantenibilidad.
- Seguridad.
- Costo de fabricación.
- Costo de instalación.
- Costo de mantenimiento.
- Durabilidad.
- Eficacia.
- Manufactura.
- Capacidad de vacío.

CAPITULO 4

DISEÑO

4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO.

Los parámetros de diseño son los que permiten decidir qué elementos son los más apropiados para el desgasificador:

Bomba de vacío:

- Presión baja.
- Intervalo de presión.
- Velocidad de bombeo.
- Presión de descarga.
- Gas residual.

4.2 MECÁNICO Y ESTRUCTURAL.

4.2.1 DISEÑO MECÁNICO DEL TANQUE DE VACÍO.

Para el cálculo del tanque se establecen los rangos de presión máximos que soporta el tanque y se comparan con las presiones ejercidas por el fluido en movimiento, cuando el funcionamiento de la extrusora se realiza de manera normal, es decir, cuando la abertura en la boquilla del dado de extrusión y la abertura de alimentación del material hacia el tornillo se encuentran libres y permiten el paso del aire y los vapores que van apareciendo en el proceso, impidiendo así que estos se acumulen y ejerzan presión en el cilindro.

El segundo caso en análisis es cuando la boquilla del dado de extrusión y la abertura de alimentación del material se encuentran obstruidas, permitiendo así la acumulación de gases dentro del cilindro de extrusión.

Todos los cálculos se hacen en el programa Mathcad y se usa la nomenclatura que establecida en dicho programa.

DETERMINACIÓN DEL RANGO DE PRESIONES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO

DISEÑO DEL TANQUE

CÓDIGO DE DISEÑO: ASME SECCIÓN VIII DIV. 1

P: Presión de diseño.

S: Valor del esfuerzo del material.

E: Eficiencia de la junta.

Re: Radio exterior.

t: Espesor de la pared.

L: Radio de bombeo

r: Radio de rebordeo

CUERPO CILINDRICO

Acero ASTM A516 GRADO 70

$$E := 1$$

$$CA := \frac{1}{64} \quad \text{in}$$

$$t := 0.0393699 \quad \text{in} \quad \text{Incluida la corrosión admisible (CA)}$$

$$Re := 4.72 \quad \text{in}$$

$$S := 38000 \quad \text{Psi}$$

$$P := \frac{S \cdot E \cdot t}{Re + 0.6 \cdot t}$$

$$P = 315.383 \quad \text{Psi} \quad \text{Presión máxima de trabajo}$$

TAPA TORIESFÉRICA

$$L := 8.89 \quad \text{in}$$

$$r := 1.6 \quad \text{in}$$

$$\frac{L}{r} = 5.556$$

$$M := \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$

En este caso el valor de L/r es menor a 16 2/3 por lo que se utiliza la formula:

$$P_c := \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{L \cdot M + 0.2 \cdot t}$$

$$P_c = 251.139 \quad \text{Psi}$$

Cuando se acoplan las bridas al tanque de vacio se crea la necesidad de calcular si éste necesita que sean colocadas placas de refuerzo para evitar fallas.

ÁREA DEL REFUERZO

t: Espesor de la pared del recipiente menos la CA.

tr: Espesor calculado de la pared del recipiente menos la CA

tn: Espesor nominal de la boca menos la CA

trn: Espesor requerido en la pared de la boca menos la CA

d: Diámetro interno de la boca en condición corroída

y: Límite del esfuerzo

CA: Corrosión admisible en la boca

$$d_i := 1.58 \quad \text{in}$$

$$CA_t := \frac{1}{16} \quad \text{in}$$

$$d := d_i + 2 \cdot CA_t$$

$$t_t := 0.2 \quad \text{in}$$

$$tr := \frac{P \cdot (Re + CA)}{S \cdot E - 0.6 \cdot P} - CA$$

$$tr = 0.024 \quad \text{in}$$

$$tn = 0.138 \quad \text{in}$$

$$trn := tn - CA_t \quad \text{in}$$

$$trn = 0.075 \quad \text{in}$$

$$A := tr \cdot d$$

$$A = 0.041 \quad \text{in}^2$$

Se evalúan dos áreas del mismo tipo: a1 y A1

$$a1 := (t - tr) \cdot d$$

$$a1 = 0.026 \quad \text{in}^2$$

$$A1 := (t - tr) \cdot (tn + t) \cdot 2$$

$$A1 = 5.481 \times 10^{-3} \text{ in}^2$$

Elegimos a1 por ser mayor que A1

Se evalúan dos áreas del mismo tipo: a2 y A2

$$a2 := (tn - trn) \cdot 5 \cdot t$$

$$a2 = 0.012 \quad \text{in}^2$$

$$A2 := (tn - trn) \cdot 5 \cdot tn$$

$$A2 = 0.043 \quad \text{in}^2$$

Elegimos a2 por ser menor que A2

Se evalúan dos alturas del mismo tipo: y con y_1

$$y_1 := 2.5 \cdot t$$

$$y_1 = 0.098 \quad \text{in}$$

$$y := 2.5 \cdot t_n$$

$$y = 0.344 \quad \text{in}$$

Se elige y_1 por ser menor que y

$$a_3 := t_n \cdot y_1$$

$$a_3 = 0.014 \quad \text{in}^2$$

$$h := \frac{1}{4} \quad \text{in}$$

$$a_4 := h \cdot \frac{h}{2}$$

$$a_4 = 0.031 \quad \text{in}^2$$

$$A_T := a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

$$A_T = 0.084$$

$$A = 0.041$$

$A < a_t$, lo que significa que no hace falta reforzar el tanque para colocar la brida.

La presión estática producida por el fluido en movimiento y en condiciones normales se calculó en el diseño de la extrusora realizado por los Sres. Mario Maldonado y Gabriel Median, obteniéndose los siguientes resultados.

Diferencial de presión producido por el efecto de la hilera (boquilla):

$$\eta := 3500 \text{Poise}$$

Viscosidad de extrusión para el PET (este valor se encuentra en el rango de 2000 - 3500 Poise)

$$\mu = 350 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\Delta P := \frac{Q \cdot \mu}{K}$$

Considerando un flujo newtoniano (aproximación) en condiciones isoterma

$$\Delta P = 6.791 \times 10^4 \quad \text{Pa}$$

Presión estática máxima:

La presión estática máxima se produce cuando el flujo de retroceso es capaz de anular el flujo total en la extrusora, es decir, cuando el flujo de retroceso iguala al flujo de fricción.

$h_c := 2.675$ mm Profundidad media del canal

$P_{max} = 1.144 \times 10^5$ Pa Presión estática máxima

Asumiendo que los canales de admisión y desfogue de material estén bloqueados se calcula la presión que necesitaría el material para comenzar a emanar gases mediante el uso de su entalpía y energía interna. 10^5

$h_m := 57.1$ $\frac{J}{g}$

$u := 23.3$ $\frac{J}{g}$

$\varphi_p := 0.55 \cdot 10^6$ $\frac{g}{m^3}$

$P_p := \varphi_p \cdot (h_m - u)$

$P_p = 1.859 \times 10^7$ Pa

Se calcula ahora la presión que debe soportar el tanque si se transfiere todo el gas contenido en el tornillo a su interior utilizando la ley para gases de Dalton.

$$\frac{P_p \cdot V_p}{T_p} = \frac{P_t \cdot V_t}{T_t}$$

Donde:

P_p : Presión en el tornillo.
 P_t : Presión en el tanque de vacío.
 V_p : Volumen ocupado por el gas en el tornillo.
 V_t : Volumen ocupado por el gas en el tanque de vacío.
 V_{tp} : Volumen de la tapa toriesférica.
 T_p : Temperatura en el tornillo.
 T_t : Temperatura en el tanque de vacío.

$D_1 := 24$	mm	Diámetro exterior del tornillo
$D = 23.8$	mm	Diámetro interior del tornillo
$D_t := 240$	mm	Diámetro del tanque
$L_p := 682$	mm	Longitud del tornillo
$L_t := 230$	mm	Longitud del cuerpo del tanque
$h_t := 54.5$	mm	Altura de la tapa toriesférica

$D1 := 24$	mm	Diámetro exterior del tornillo
$D = 23.8$	mm	Diámetro interior del tornillo
$Dt := 240$	mm	Diámetro del tanque
$Lp := 682$	mm	Longitud del tornillo
$Lt := 230$	mm	Longitud del cuerpo del tanque
$ht := 54.5$	mm	Altura de la tapa toriesférica

$$Tp := 175 \quad ^\circ\text{C}$$

$$Tt := 25 \quad ^\circ\text{C}$$

$$Vp := \frac{(D1 - D)^2 \cdot \pi}{4} \cdot Lp$$

$$Vp = 21.426 \quad \text{mm}^3$$

$$Vtp := \frac{\pi}{6} \cdot ht \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot Dt^2 + ht^2 \right)$$

$$Vtp = 1.318 \times 10^6 \quad \text{mm}^3$$

Volumen de la tapa del tanque

$$Vct := \frac{Dt^2 \cdot \pi}{4} \cdot Lt$$

$$Vct = 1.04 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

Volumen del cuerpo del tanque

$$V_t := V_{ct} + 2 \cdot V_{tp}$$

$$V_t = 1.304 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

$$P_t := \frac{P_p \cdot V_p \cdot T_t}{T_p \cdot V_t}$$

$$P_t = 4.364 \quad \text{Pa}$$

El caso más crítico de presión será cuando ésta sea producida por el gas que emana el polímero y se acumule en el cilindro del tornillo, dicha presión trasladada al tanque es reducida en gran magnitud por lo que no genera ningún peligro en el desarrollo del proceso.

El caso de la presión estática entonces no requiere de análisis pues ya se ha analizado el caso más crítico, lo que nos garantiza un funcionamiento correcto y seguro.

4.2.2 CAUDAL VOLUMÉTRICO.

Dependiendo de la capacidad de succión de la bomba de vacío y la presión de funcionamiento de ésta se puede hallar caudal de bombeo del sistema de extrusión ya sea mediante formula o curvas características de la bomba.

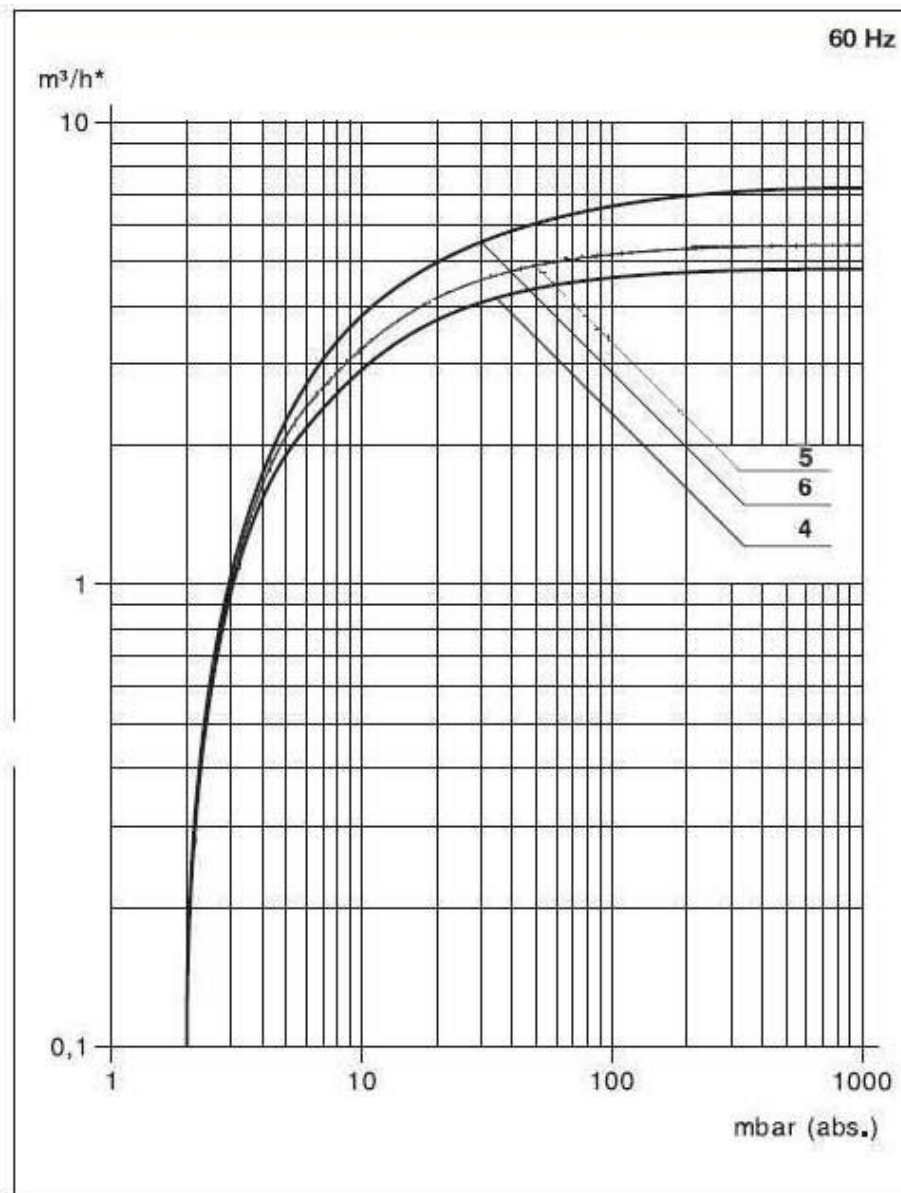


Figura 4.1. Curva característica de la bomba de vacío³⁶.

³⁶ <http://www.gd-elmorietschle.com/Products.aspx?mi=692>

4.2.3 FUERZA DE SUCCIÓN.

La presión de succión es calculada sobre una partícula estándar de PET luego de ser triturada.

$$P_s := 2000 \quad \text{Pa}$$

$$L_f := 8.14 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

$$A_f := 5.22 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

$$e_f := 0.37 \cdot 10^{-3} \quad \text{m}$$

$$\delta_f := 0.55 \cdot 1000$$

$$\delta_f = 550 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_p := L_f \cdot A_f$$

$$A_p = 4.249 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2$$

$$V_{fp} := A_p \cdot e_f$$

$$V_{fp} = 1.572 \times 10^{-8} \quad \text{m}^3$$

$$m_p := \delta_f \cdot V_{fp}$$

$$m_p = 8.647 \times 10^{-6} \quad \text{Kg}$$

$$F_{fp} := 9.81 \cdot m_p$$

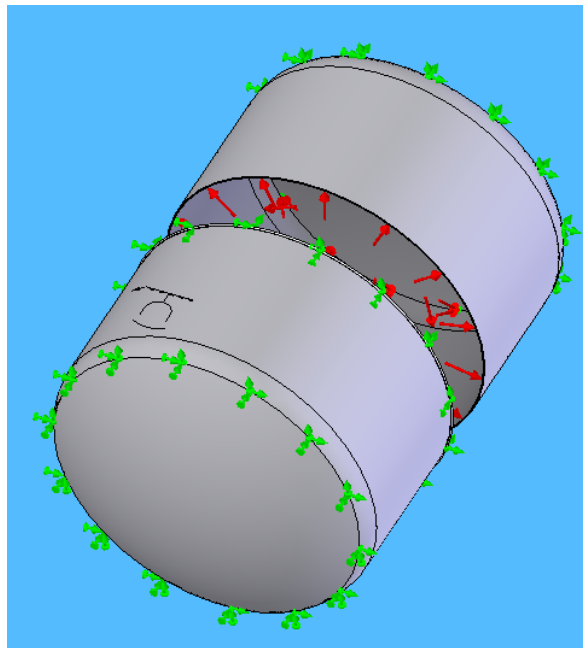
$$F_{fp} = 8.483 \times 10^{-5} \quad \text{N}$$

$$F_s := P_s \cdot A_p$$

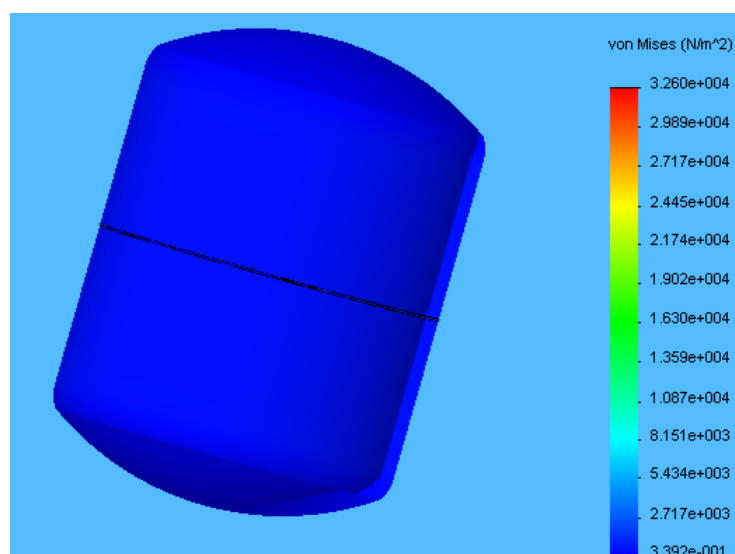
$$F_s = 0.085 \quad \text{N}$$

4.2.4 ANÁLISIS DE ESFUERZOS MEDIANTE SOFTWARE EN EL TANQUE DE VACÍO.

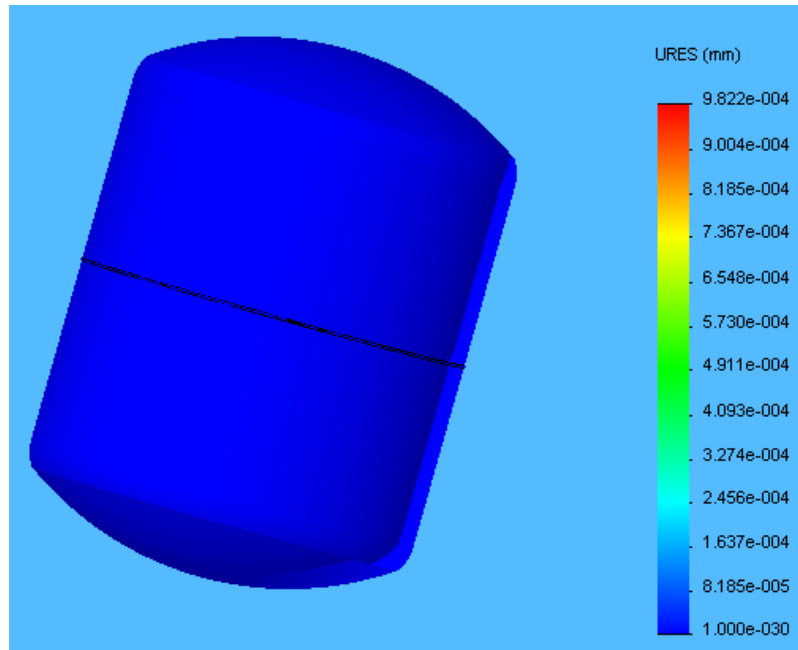
El software utilizado para este análisis es SOLIDWORKS, en este programa se procede primero a asignar las cargas de presión en la parte interior del tanque y las respectivas restricciones.



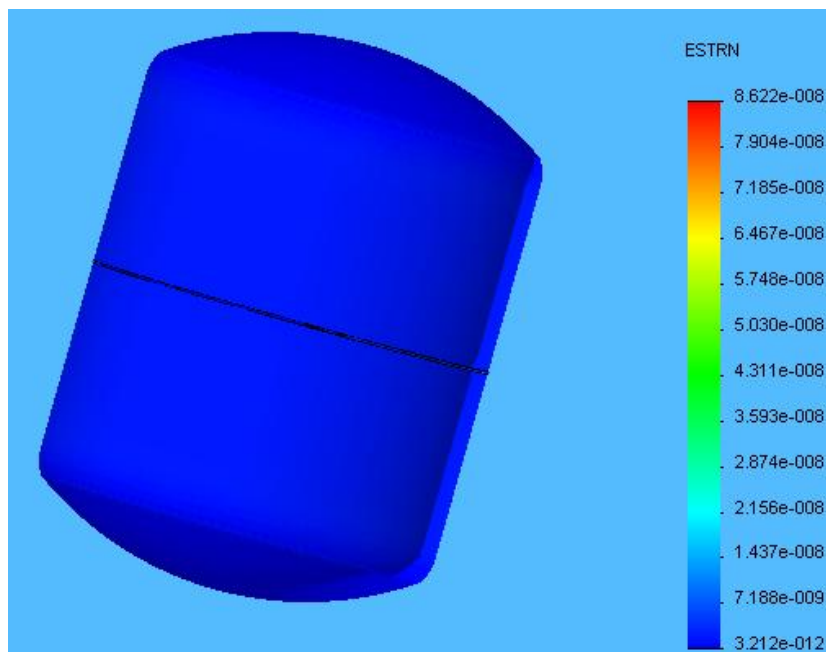
Análisis de tensiones.



Desplazamientos.



Deformación Unitaria.



Resumen de resultados.

Resultados

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Min.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.339165 N/m ² Nodo: 62545	(-11.1617 mm, -202.403 mm, -107.789 mm)	32604.5 N/m ² Nodo: 85575	(31.5759 mm, -64.1451 mm, -120.064 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 m Nodo: 3099	(64.4509 mm, 66.9443 mm, -101.756 mm)	9.82221e-007 m Nodo: 83981	(128.323 mm, -64.9252 mm, 15.198 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.21155e-012 Elemento: 12421	(24.0332 mm, 71.4165 mm, -108.84 mm)	8.62202e-008 Elemento: 42917	(12.0007 mm, -65.5227 mm, 122.789 mm)

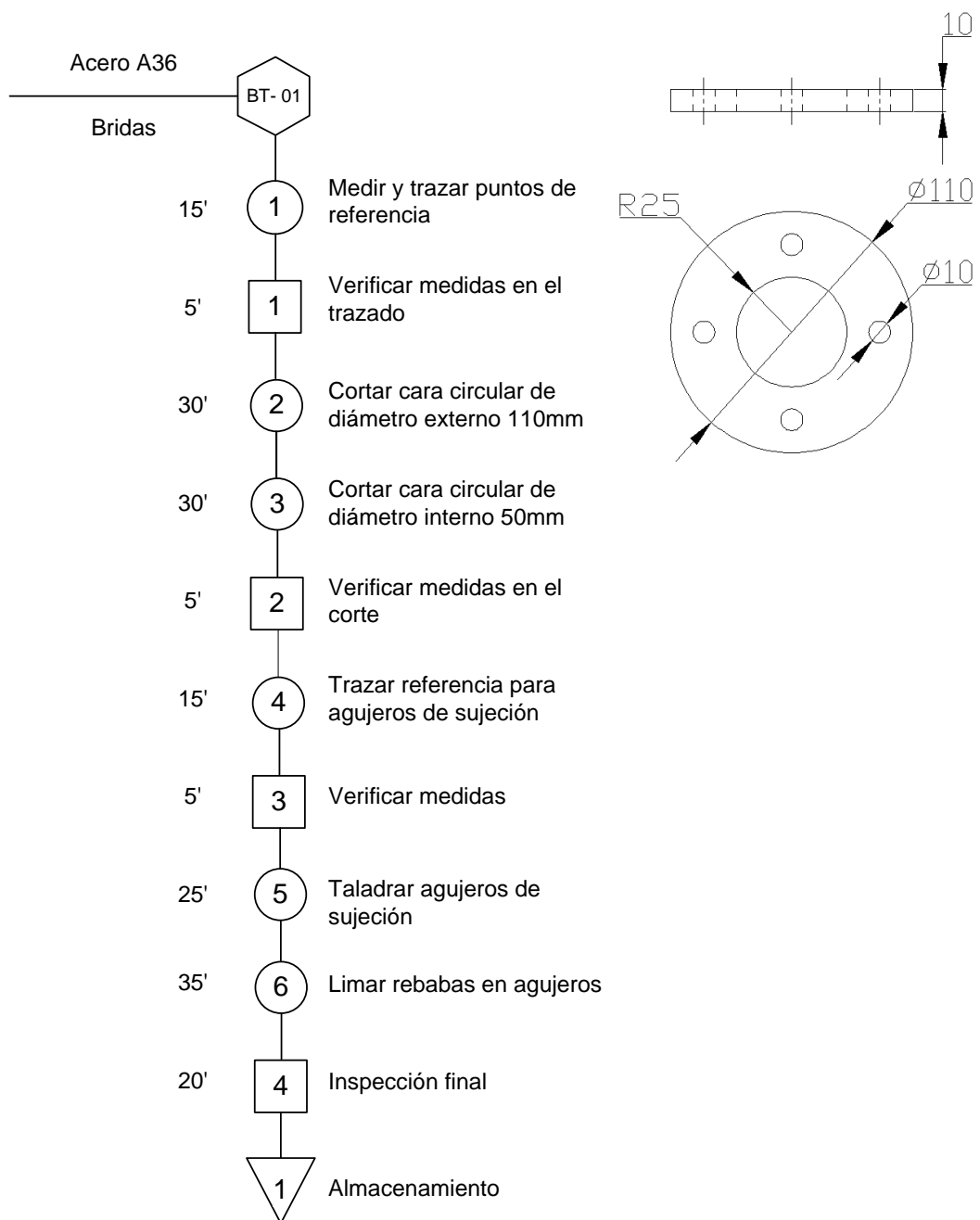
Se puede apreciar claramente que es tanque no falla por la presión máxima que pudiera producirse en el tornillo.

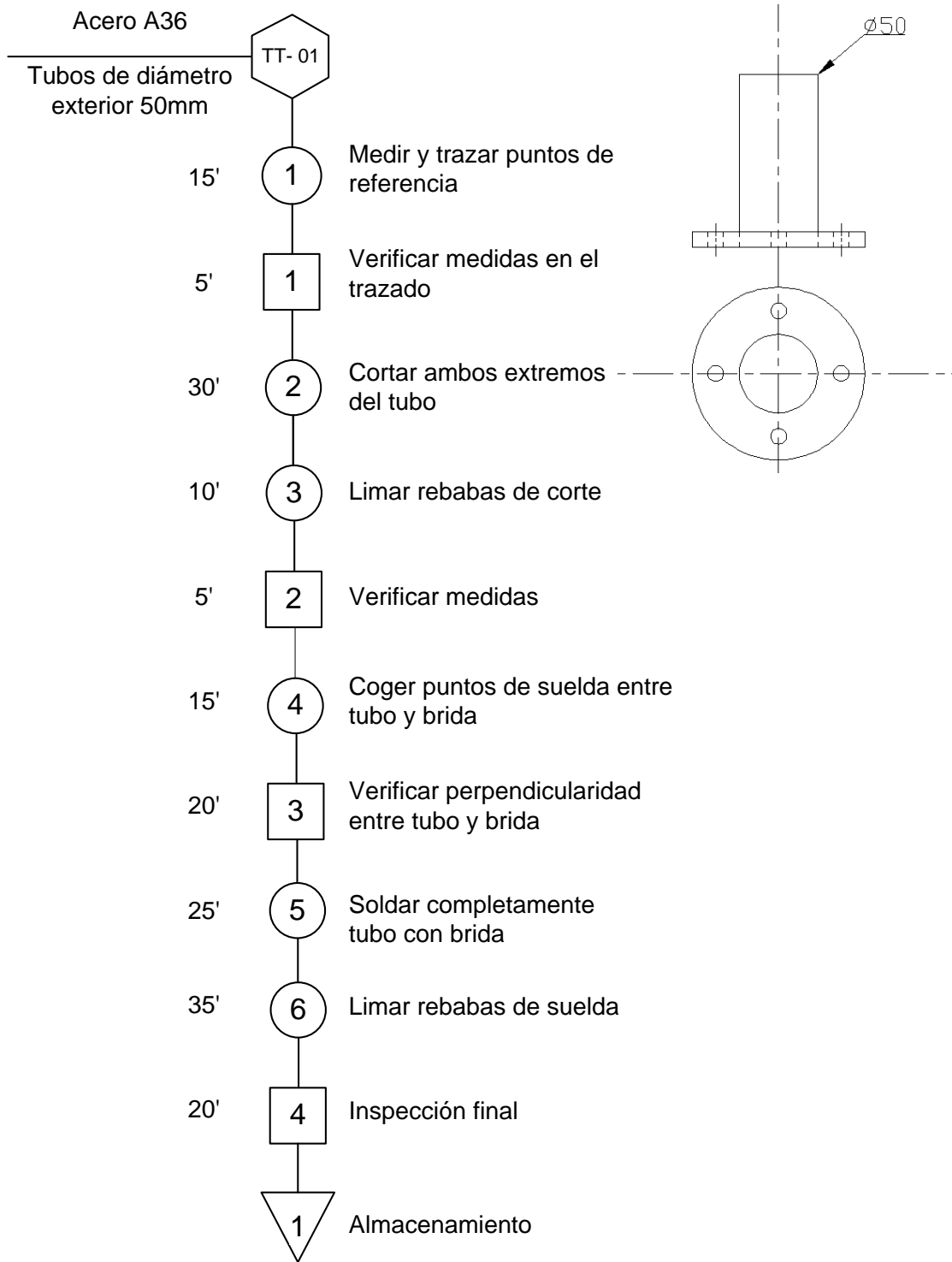
El resumen de resultados muestra de manera clara y exacta las cantidades de tensiones, deformación y desplazamiento analizadas en el tanque después de haberlo sometido a presión interna.

CAPITULO 5

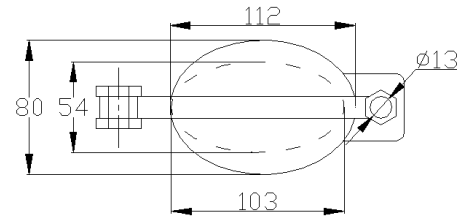
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 DIAGRAMA DE PROCESOS





Acero A36
Tapa de alimentación



15'

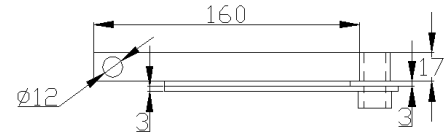


Medir y trazar puntos de referencia

5'



Verificar medidas en el trazado



30'



Cortar cara ovalada de eje Mayor de 112mm y eje menor de 80mm (2)

30'



Cortar cara ovalada interior de eje mayor de 103mm y eje menor de 54mm desfasada 3mm del centro

5'



Verificar medidas en el corte

15'



Cortar varilla de sujeción

5'



Verificar medidas

10'



Taladrar agujero de sujeción en varilla

15'



Soldar tuerca en varilla de sujeción

25'



Cortar placa de sujeción inferior

15'



Soldar tuerca a placa

25'



Soldar varilla a la tapa superior

20'



Soldar placa a la tapa inferior

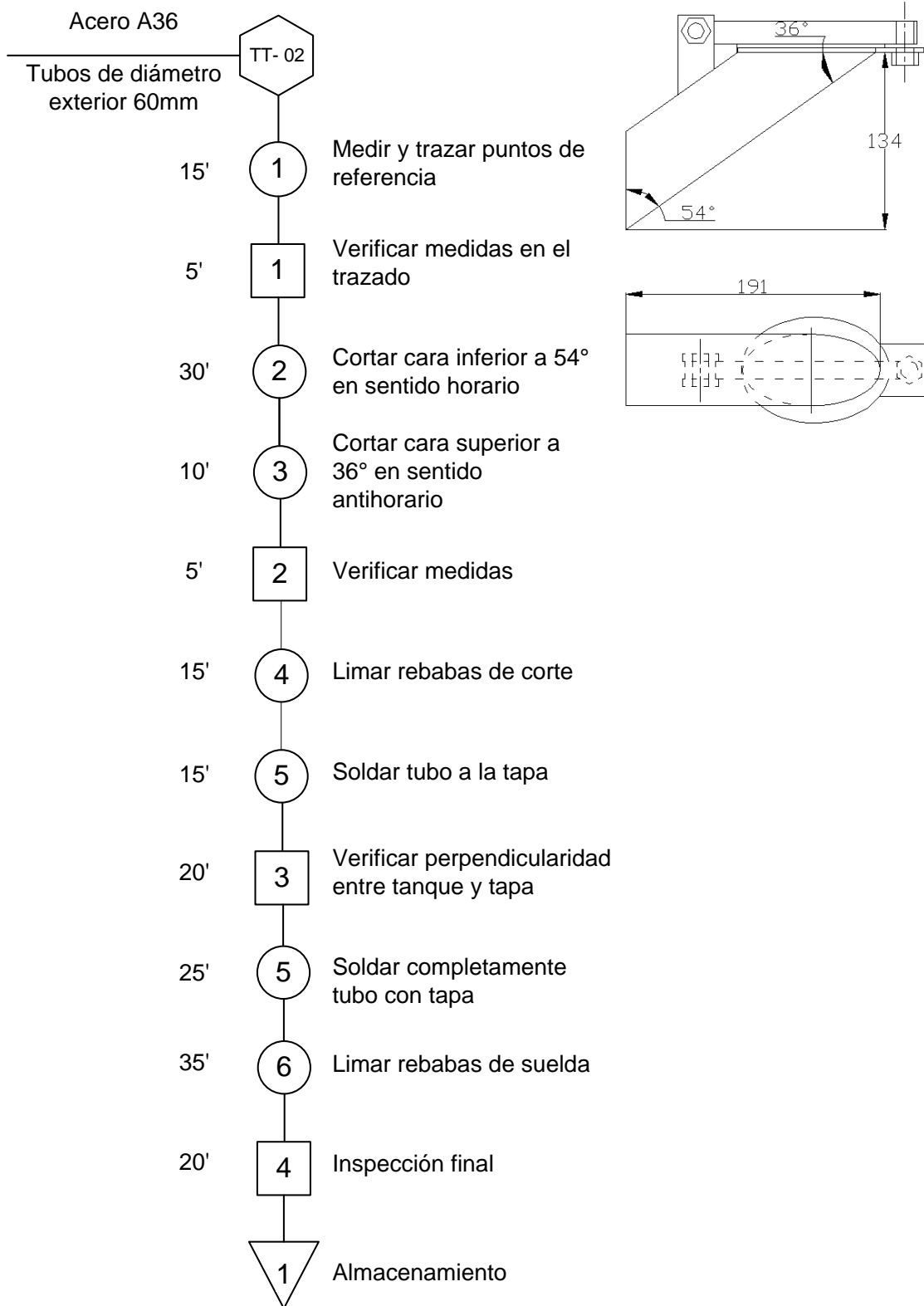
20'

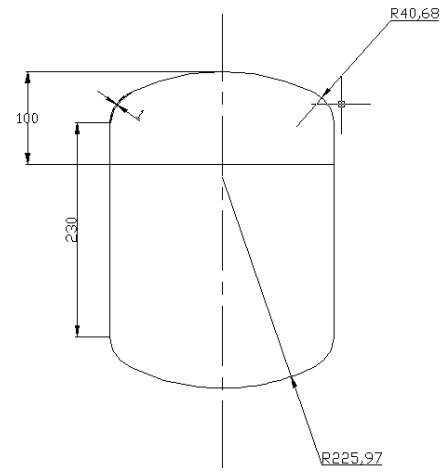
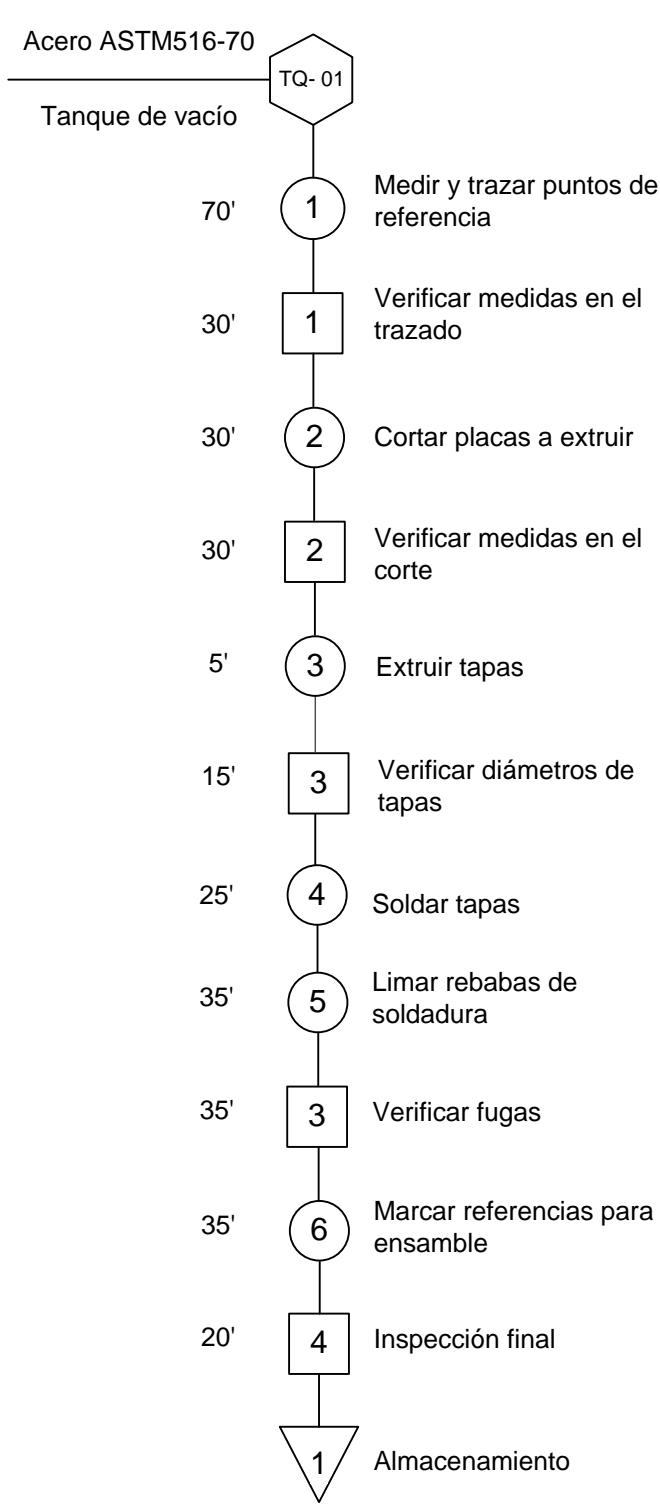


Inspección final

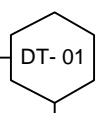


Almacenamiento

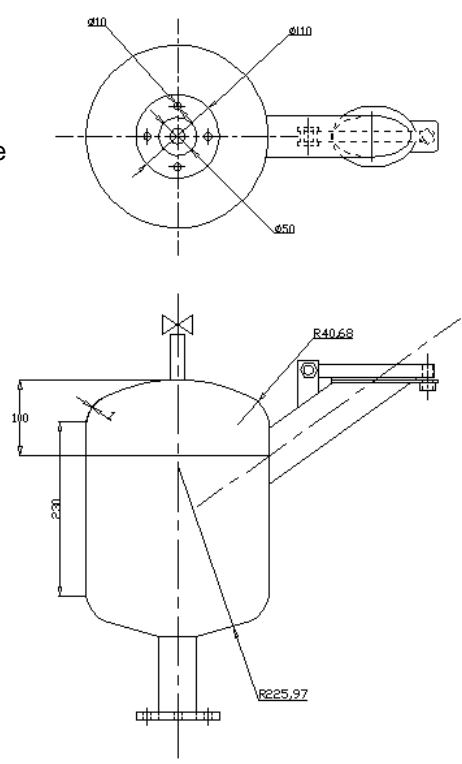


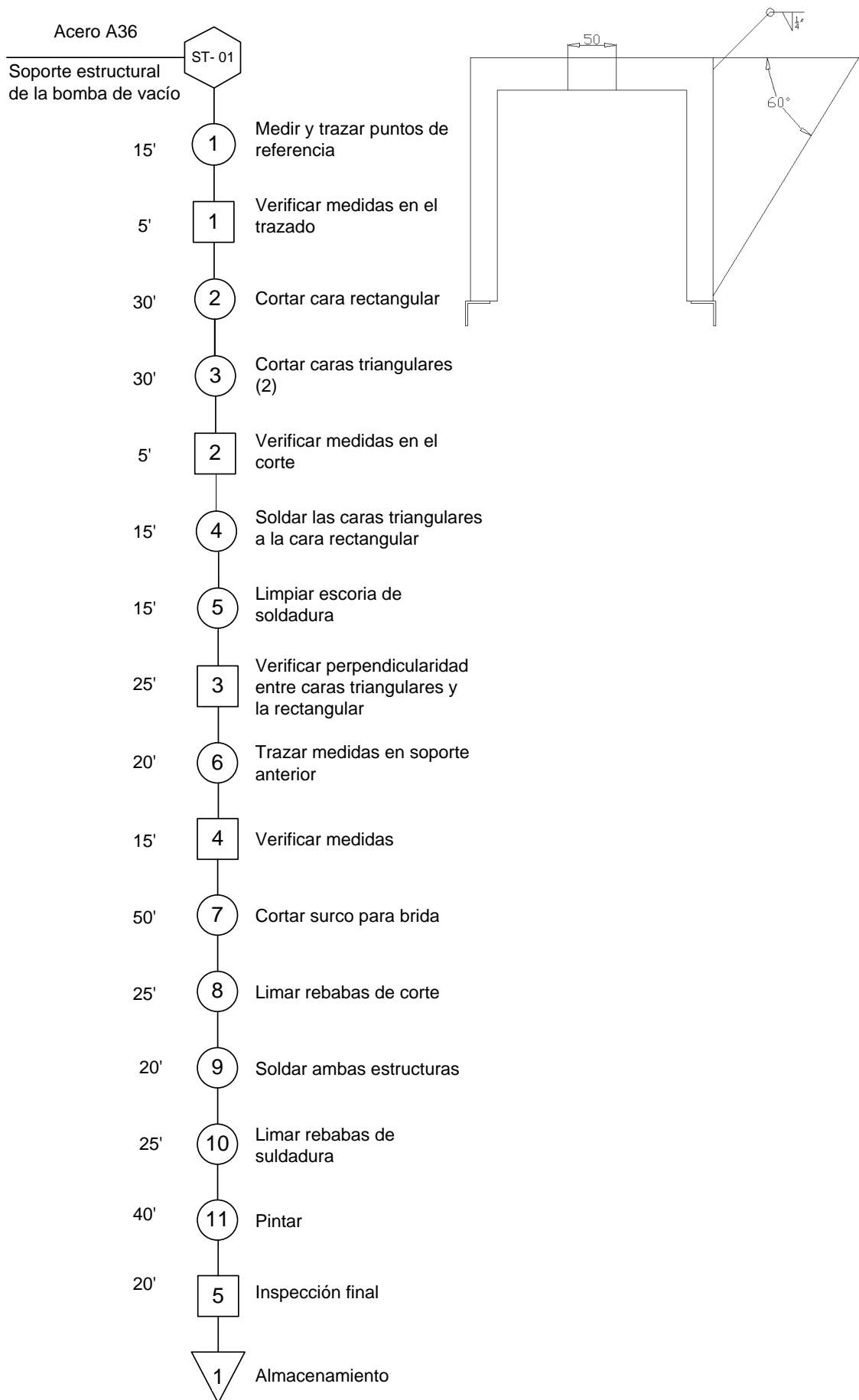


Varios Materiales
Desgasificador



- 70' (1) Medir y trazar puntos de referencia
- 30' (1) Verificar medidas en el trazado
- 30' (2) Cortar agujeros inferior
- 30' (3) Cortar agujero lateral
- 5' (2) Verificar medidas en el corte
- 15' (4) Soldar brida inferior
- 25' (5) Soldar brida lateral
- 35' (6) Limar rebabas de soldadura
- 35' (3) Verificar fugas
- 35' (7) Pintar
- 20' (4) Inspección final
- (1) Almacenamiento





5.2 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

(Ver detalle en anexo A)

5.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

5.3.1 EQUIPOS

El proyecto se realiza en las instalaciones de Mecánica Industrial Magic Block, ubicada en la Avenida Juan Molineros y Av. 6 de diciembre, en el sector de la Rumiñahui.

Estas instalaciones cuentan con los siguientes equipos:

5.3.1.1 Equipo de Soldadura Smaw

Marca: CENTURY MN

Partes:

- Pinza para electrodo.
- Regulador de amperaje.
- Cable para tierra.
- Pinza de trabajo.



Figura 5.1. Equipo de soldadura.

5.3.1.2 Equipo de Soldadura Oxiacetilénica

Marca:

Partes:

- Botella de oxígeno.
- Botella de acetileno.
- Boquilla de corte.
- Chispero.



Figura 5.2. Equipo de corte.

5.3.1.3 Equipo de Seguridad industrial

- Gafas
- Overol
- Guantes
- Mascarilla
- Botas con puntas de acero
- Mascarilla antiflama
- Casco



Figura 5.3. Equipo de seguridad industrial.

5.3.2 HERRAMIENTAS

- Compresor de 2 HP
- Soplete
- bórax
- Varilla de cobre
- Juego de llaves mixtas
- Desarmador plano y estrella.
- Tijeras de tol
- Taladro
- Brocas 1/8", 1\ 4, 3/16, 3/4.
- Teflón
- Sicaflex
- Llaves de pico
- Escuadra de 90°, 60° y 45°
- Nivelador
- Martillo
- Punzón
- Masilla plástica
- Lijas # 80
- Lijas de agua # 360 y #400.
- Limatón

5.4 MANO DE OBRA

En lo que respecta a la mano de obra ha sido seleccionada de acuerdo a las necesidades de este proyecto en especial:

Soldadura.- La soldadura ha sido designada a un técnico de experiencia, debido a que en este proyecto la soldadura a realizarse debe ser de calidad para así evitar pérdidas de presión por fugas así como fallas frente a las exigencias de resistencia en el tanque al vacío.

La mano de obra necesaria para ejecutar este proyecto fue elaborada en un 70% por JHONNY RICARDO CUENCA VALENCIA y JEAN PIERRE FIGUEROA BRAZZINI mientras que el 30 % fue realizado por personal calificado de las instalaciones de Mecánica Industrial Magic Block.

CAPITULO 6

PRUEBAS

6.1 PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

6.1.1 PROCEDIMIENTO

El desgasificador al vacío consta de cuatro partes fundamentales que son:

- Cámara de vaciado.
- Válvula de regulación.
- Bomba de vacío.
- Vacuómetro.

Antes de accionar el motor que mueve el tornillo de extrusión se precalienta la extrusora mediante seis resistencias calefactoras durante un tiempo aproximado de 1:15 h a una temperatura de 180 grados centígrados, las temperaturas van a ser visibles en dos paneles digitales y controladas calibradas de manera manual con un control análogo.



Figura 6.1. Controles digitales de temperatura.

Una vez transcurrido el tiempo de 1:15 h se procede a girar el tornillo sin fin, mediante un motor eléctrico conectado a un variador de frecuencia que será utilizado para mantener una velocidad de 45 rpm ya que esta frecuencia va a servir para todo el proceso de la extrusión.



Figura 6.2. Variador de frecuencias

Todo el procedimiento realizado anteriormente sirve para poner a punto la extrusora así como para poder a vaciar el material sobrante que se encuentra en el cilindro de extrusión.

Una vez eliminados los restos de material sobrante en el cilindro de extrusión, en este caso PET, se procede a abrir la tapa de alimentación y luego a ingresar 500 gramos de PET seco o húmedo, según el tipo de fibra a obtener con fines experimentales.



Figura 6.3. Tapa de alimentación

Luego de haber ingresado el PET dentro de la cámara de vacío se cierra la tapa de alimentación de manera que se forme un sello que evite las fugas de presión.

Se enciende luego la bomba de vacío a una presión de 2 "Hg, lo cual puede ser regulado mediante una válvula que se encuentra en la parte superior de la cámara de vaciado.



Figura 6.4. Bomba de vacío y válvula de regulación respectivamente

6.1.2 DATOS INICIALES DE PRESIÓN.

En este caso se trabajó con un vaciado inicial de 2"Hg en el desgasificador al vacío.

Esta presión inicial de vacío es idónea tanto para la absorción de gases durante el proceso de extrusión como para que las escamas de PET no sean absorbidas, debido a su bajo peso.

6.1.3 ESTUDIO COMPARATIVO.

El objetivo principal de éste proyecto es mejorar las propiedades mecánicas, principalmente la ductilidad, del PET reciclado luego pasar por el proceso de extrusión.

Una vez obtenidas las fibras:

RPET normal (sin aplicar ningún proceso).

RPET con desgasificado.

RPET seco y desgasificado.

PET virgen normal (sin aplicar ningún proceso).

PET virgen con desgasificado.

Con éste fin se realiza un estudio para poder determinar que temperatura es la idónea para el proceso de extrusión, la velocidad del tornillo y a su vez comparar el producto final con el desgasificador y sin ello.

A continuación se muestran las condiciones de uso de la extrusora establecidas por los señores Gabriel Medina y Mario Maldonado, la máquina extrusora se ponía a funcionar a una temperatura de 260°C y el tiempo óptimo para poder trabajar en dicha máquina era de 1 hora a la temperatura mencionada, mientras que la velocidad del tornillo tenía que mantenerse a 50 rpm.

Para el presente proyecto se determinaron las siguientes condiciones de uso:

Temperatura para el proceso de extrusión: 175°C

Velocidad del tornillo: 45rpm

Tiempo de calentamiento: 1:15 horas.

Estos datos son los apropiados para una correcta extrusión ya que trabajando bajo las condiciones establecidas por los señores Maldonado y Medina el plástico PET se quema, lo que aumenta la fragilidad del material luego de extruido.

Con las condiciones de funcionamiento de la extrusora establecidas en el actual proyecto el producto final se puede extruir de una manera correcta permitiendo la obtención de probetas para su posterior análisis.

6.1.4 FALLAS COMUNES.

Las fallas más comunes que se presentan durante el proceso de extrusión y desgasificado con los siguientes:

Desgasificado:

- Variación del voltaje en la bomba de vacío, durante el proceso de desgasificado y extrusión.
- Taponamiento de la válvula de regulación por presencia de humedad durante el proceso.
- Taponamiento en el filtro debido a pequeñas partículas de material, en forma de polvo plástico, absorbidas durante la extracción de gases.

Extrusión:

- Taponamiento de la boquilla debido a material sobrante de la anterior extrusión.
- Termocuplas en mal estado.
- Variación del voltaje durante el calentamiento de la extrusora.
- Mal funcionamiento de una banda calefactora.
- Atascamiento del tornillo sin fin.

6.1.5 SOLUCIONES

Las soluciones principales para el proceso de desgasificado y extrusión son las siguientes:

- Antes de realizar el proceso de extrusión se va a aflojar la boquilla ya que en ella existe material sobrante y en algún momento podría causar un grave accidente por taponamiento.
- En caso de mal funcionamiento de alguna termocupla de inmediatamente ésta deber ser reemplazarla por una nueva que posea las mismas características.
- Antes de comenzar a realizar alguna prueba de desgasificación verificar las válvulas que están unidas al tanque de vacío.

En el caso de un atascamiento del tornillo sin fin hay dos opciones para solucionarlo: La primera sería desarmar todo el conjunto para así poder limpiar de mejor manera los restos de material, la segundo y más factible será dejar calentar la extrusora durante 1:15 horas o hasta que el material empiece a gotear debido al calor sin necesidad de activar el tornillo.

6.2 PRUEBAS DE LABORATORIO.

6.2.1 PROCEDIMIENTO.

Las pruebas que a continuación se van a realizar son ensayos de tracción horizontal, lo primero que se realiza para dicha prueba es seleccionar la fibra apropiada para el ensayo tomando en cuenta algún parámetro de referencia como por ejemplo: diámetro uniforme.

En este caso se van a cortar probetas de 150 mm de longitud teniendo en cuenta que en cada probeta se va a marcar a 25 mm del extremo más cercado como referencia para poder medir su longitud final luego de exponerse a la tracción.



Figura 6.5. Obtención de probetas

Claro está que se va a clasificar las probetas en cinco diferentes grupos de ensayos a tracción a continuación que son los siguientes:

- RPET normal (sin aplicar ningún proceso).
- RPET desgasificado.
- RPET secado y desgasificado.
- PET virgen normal (sin aplicar ningún proceso)
- PET virgen desgasificado.



Figura 6.6. Fibra sin ningún proceso



Figura 6.7. Fibra con proceso de desgasificado



Figura 6.8. Fibra con proceso de desgasificación y secado

Para realizar los ensayos se utiliza una máquina de ensayos que se encuentra en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, teniendo en cuenta que dichos ensayos se van a realizar a una temperatura ambiente de 21°C.

ENSAYO DE TRACCIÓN.

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada, de acuerdo a un estándar establecido con anterioridad en el laboratorio por los estudiantes que hicieron los ensayos previos a éste, a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Éste ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente así como su capacidad para deformarse.

Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas.

MÁQUINA DE ENSAYOS.

Marca: AMSLER

Tipo de ensayo: Tracción Horizontal.



Figura 6.9. Máquina de ensayos AMSLER

Procedimiento

Una vez señalados los tramos de referencia, que han sido hechos utilizando un marcador, se aplica la carga horizontal sobre la probeta en la máquina de ensayos hasta su rotura para luego calcular su elongación.

Antes de realizar los ensayos se verifica el funcionamiento correcto de la máquina y sobre todo su calibración, en este caso se van a realizar dichos ensayos a una escala de 20 para las probetas obtenidas de RPET sin procesar y RPET desgasificado y una escala de 50 para probetas de RPET obtenidas luego de secar y aplicando desgasificado y para PET virgen debido a las diferentes cargas de tensión que cada una es capaz de soportar.

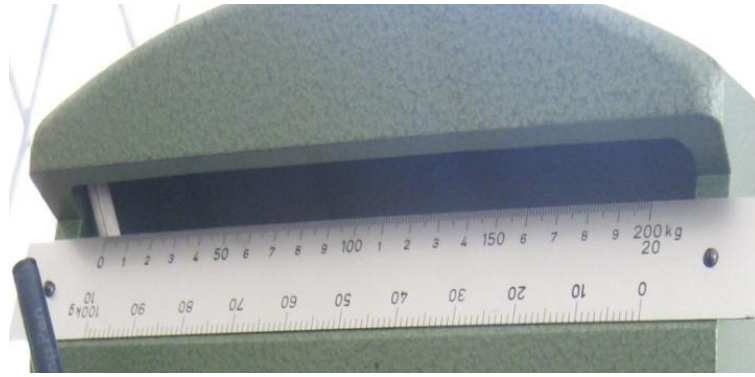


Figura 6.10: Regla de escalas.

Se coloca la probeta en los dispositivos de sujeción, en este caso también llamadas mordazas.



Figura 6.11: Mordazas de sujeción.

Siempre teniendo en cuenta que no se encuentren muy alejadas las marcas, establecidas a 100mm una de otra, de las mordazas.

Se procede inmediatamente a encerrar la máquina de ensayos.

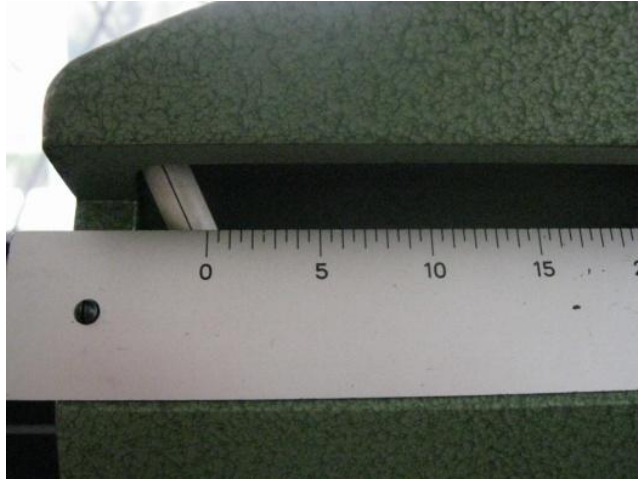


Figura 6.12: Máquina sin encerar.

Luego se coloca el papel milimetrado en el rodillo, sujetando a su vez los dos extremos del papel, mediante unos anillos flexibles.

Se señalan los puntos de referencia donde se va a realizar la gráfica asegurándose a su vez que el marcador raye correctamente.



Figura 6.13: Rodillo para gráficas.

Una vez encerada la maquina se procede a accionar dicha máquina girando hacia la izquierda, en la posición número 1.



Figura 6.14: Palanca de encendido.

Ésta máquina de ensayos de tracción horizontal dispone de un sistema de medida como son las células de carga y extensómetros, que permiten registrar la fuerza aplicada y la deformación producida sobre las probetas de prueba.



Figura 6.15: Muestra de gráfica obtenida.

6.2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS.

Tabla 6.1: Datos obtenidos de probetas de RPET normal.

Probeta	Diámetro (mm)				
	1	2	3	4	5
1	2,46	2,31	2,45	2,44	2,41
2	1,96	2,12	2,15	2,17	2,22
3	2,38	2,22	2,29	2,07	2,1
4	2,11	2,19	2,36	2,42	2,4
5	2,23	2,12	2,36	2,4	2,36

Tabla 6.2: Resultados obtenido de él ensayo a tracción RPET normal.

Probeta	D promedio (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Alargamiento (%)	Fuerza P(Kg-f)	Área (mm ²)	Esfuerzo σ_u (MPa)
1	2,414	100	103	3	0,6	4,58	1,29
2	2,124	100	100,9	0,9	0,48	3,54	1,33
3	2,212	100	100,9	0,9	0,5	3,84	1,28
4	2,296	100	101	1	0,62	4,14	1,47
5	2,294	100	101	1	0,8	4,13	1,9

Tabla 6.3: Datos obtenidos de probetas de RPET Desgasificado.

Probeta	Diámetros (mm)				
	D1	D2	D3	D4	D5
1	1,87	2,01	2,021	1,81	1,79
2	2,29	2,16	2,05	1,8	1,98
3	2,25	2,21	2,04	1,91	2,01
4	2,08	2,07	2,16	2,13	2,01

Tabla 6.4: Resultados obtenido del ensayo a tracción RPET Desgasificado

Probeta	D promedio (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Alargamiento (%)	Fuerza P(Kg-f)	Área (mm ²)	Esfuerzo σ_u (MPa)
1	1,9002	100	135	35	0,62	2,84	2,14
2	2,056	100	114	14	0,64	3,32	1,89
3	2,084	100	119	19	0,92	3,41	2,65
4	2,09	100	120	20	0,76	3,43	2,27

La tabla a continuación se obtuvo en conjunto con los estudiantes de Ingeniería Mecánica **Miguel Montenegro y Jorge Valverde**, utilizando su proyecto titulado “**Diseño y construcción de un deshumidificador de hojuelas de PET para la extrusora del laboratorio de mecánica de materiales**”.

Una vez obtenido el PET seco, éste se deposita en la cámara de vacío para así posteriormente realizar las siguientes pruebas con una presión de vaciado de 2" Hg, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 6.5: Datos obtenidos de probetas de RPET Seco y Desgasificado.

Probeta	Diámetro (mm)				
	1	2	3	4	5
1	1,09	1,27	1,15	1,27	1,44
2	1,4	1,37	1,4	1,55	1,41
3	1,44	1,43	1,63	1,64	1,55
4	1,44	1,44	1,41	1,26	1,43
5	1,47	1,53	1,16	1,27	1,52

Tabla 6.6: Resultados obtenido del ensayo a tracción RPET Seco y Desgasificado

Probeta	D promedio (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Alargamiento (%)	Fuerza P(Kg-f)	Área (mm ²)	Esfuerzo σ (MPa)
1	1,244	100	226	126	1,35	1,22	13,24
2	1,426	100	265	165	1,4	1,43	13,73
3	1,538	100	275	175	1,3	1,54	12,75
4	1,396	100	265	165	1,2	1,4	11,77
5	1,39	100	260	160	1,15	1,4	11,28

Tabla 6.7: Datos obtenidos de probetas de PET virgen normal.

Probeta	Diámetro (mm)				
	1	2	3	4	5
1	2,31	2,42	2,25	2,55	2,32
2	2,28	2	2,16	2,22	2,13
3	2,06	2,11	2,05	2,03	2,04
4	2,11	2,2	2,03	2,26	2,28
5	2,15	2,14	2,06	2,2	2,18

Tabla 6.8: Resultados obtenido de él ensayo a tracción PET virgen normal.

Probeta	D promedio (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Alargamiento (%)	Fuerza P(Kg-f)	Área (mm ²)	Esfuerzo σ_u (MPa)
1	2,37	100	101	1	2,45	4,41	5,45
2	2,158	100	100,8	0,8	2,2	3,66	5,9
3	2,058	100	102	2	2,15	3,33	6,34
4	2,176	100	102	2	2,15	3,72	5,67
5	2,146	100	101	1	1,9	3,62	5,15

Tabla 6.9: Datos obtenidos de probetas de PET virgen desgasificado.

Probeta	Diámetro (mm)				
	1	2	3	4	5
1	1,95	2,11	2,01	2,24	1,91
2	2,15	2,3	2,03	2,05	1,97
3	2,25	2,17	2,04	1,98	2,03
4	2,06	2,17	2,03	2,02	2
5	2,15	2,08	2,04	2,25	2,09

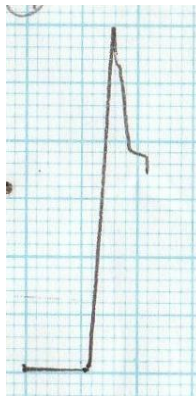
Tabla 6.10: Resultados obtenido de él ensayo a tracción PET virgen desgasificado.

Probeta	D promedio (mm)	Lo (mm)	L (mm)	Alargamiento (%)	Fuerza P(Kg-f)	Área (mm ²)	Esfuerzo σ_u (MPa)
1	2,04	100	224	124	2,25	3,28	6,73
2	2,1	100	246	146	2,35	3,46	6,66
3	2,09	100	268	168	2,45	3,44	6,98
4	2,06	100	243	143	2,25	3,32	6,65
5	2,12	100	260	160	2,35	3,54	6,52

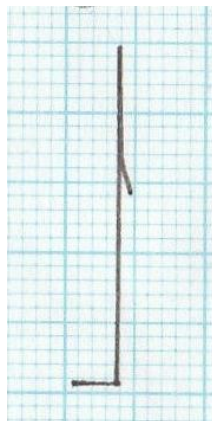
ENSAYOS A TRACCIÓN PET RECICLADO (SIN DESGASIFICAR)

Diagramas obtenidos en el ensayo

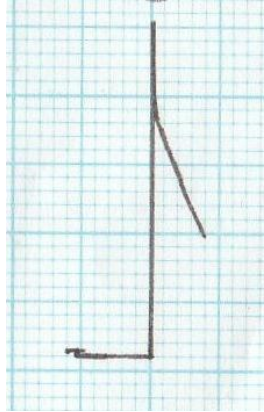
Gráfica 1



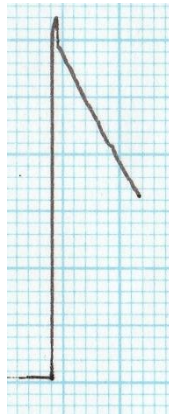
Gráfica 2



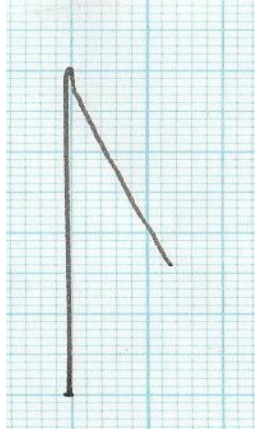
Gráfica 3



Gráfica 4



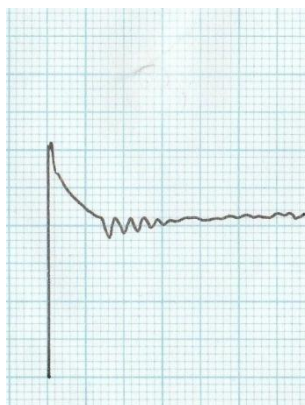
Gráfica 5



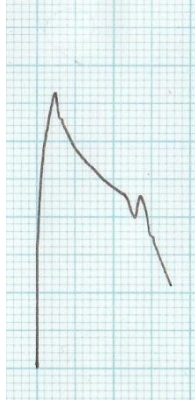
ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO

Diagramas obtenidos en el ensayo

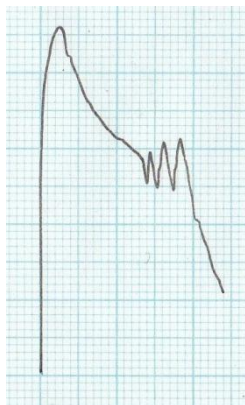
Gráfica 1



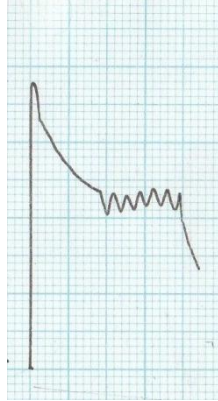
Gráfica 2



Gráfica 3



Gráfica 4

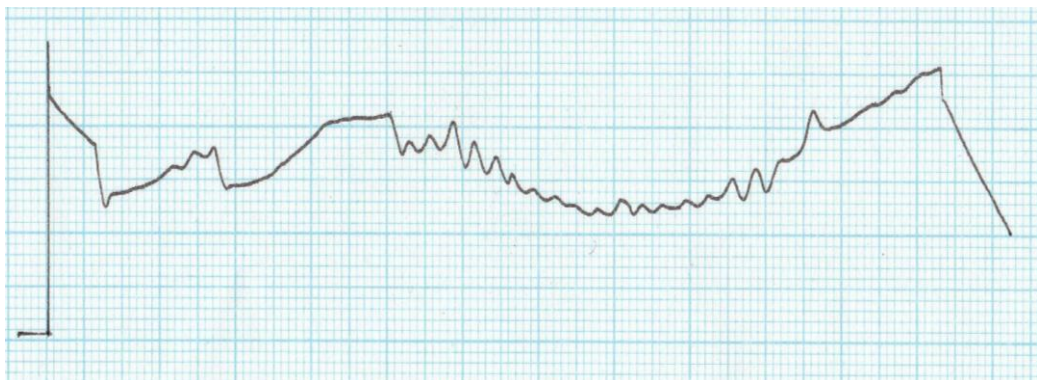


ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO Y SECADO

Diagramas obtenidos en el ensayo.

Gráfica 1

Esfuerzo vs deformación



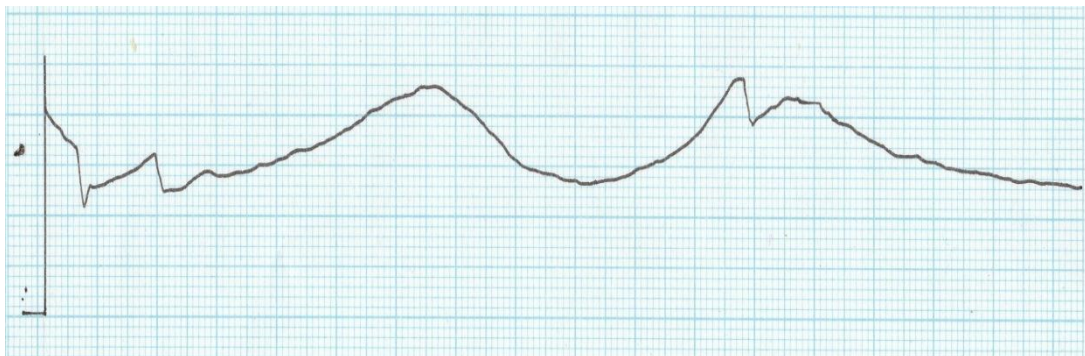
Gráfica 2

Esfuerzo vs deformación



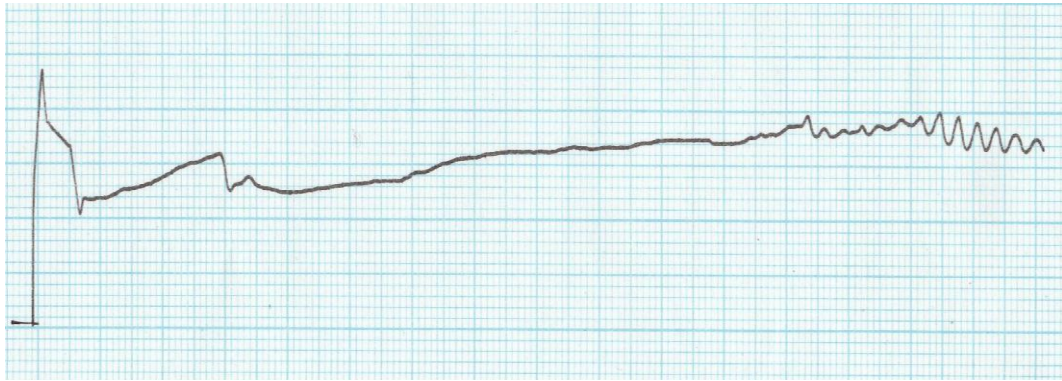
Gráfica 3

Esfuerzo vs deformación



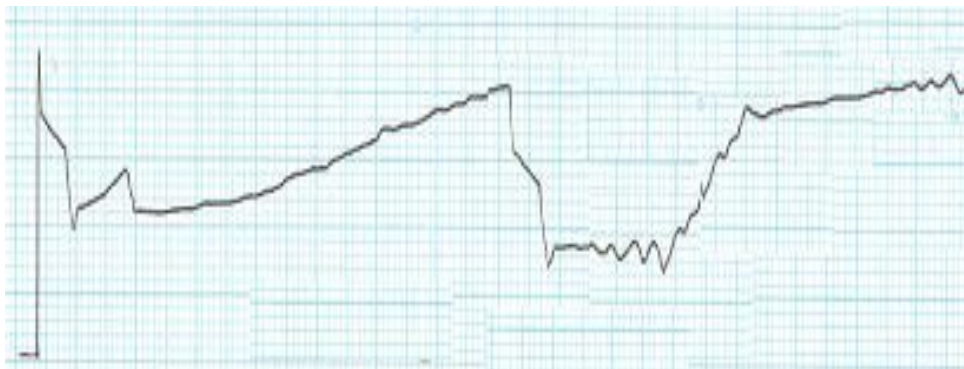
Gráfica 4

Esfuerzo vs deformación



Gráfica 5

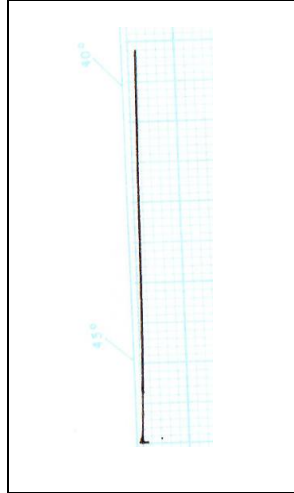
Esfuerzo vs deformación



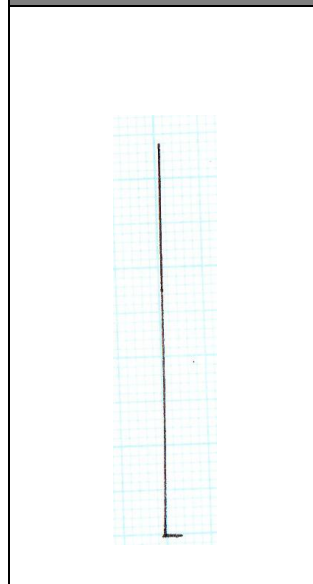
ENSAYOS A TRACCIÓN PET VIRGEN (SIN DESGASIFICAR)

Diagramas obtenidos en el ensayo

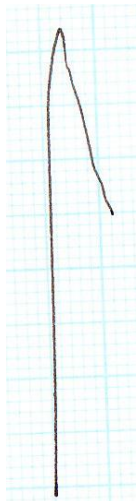
Gráfica 1



Gráfica 2



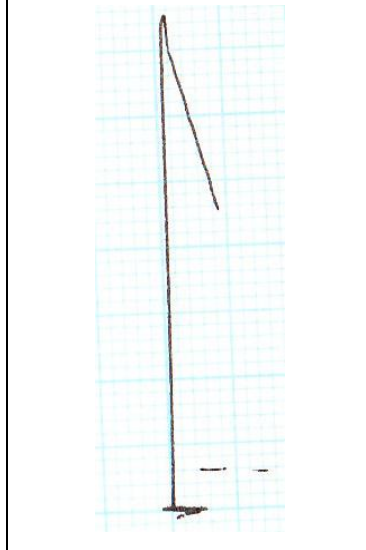
Gráfica 3



Gráfica 4



Gráfica 5



ENSAYOS A TRACCIÓN RPET DESGASIFICADO Y SECADO

Diagramas obtenidos en el ensayo.

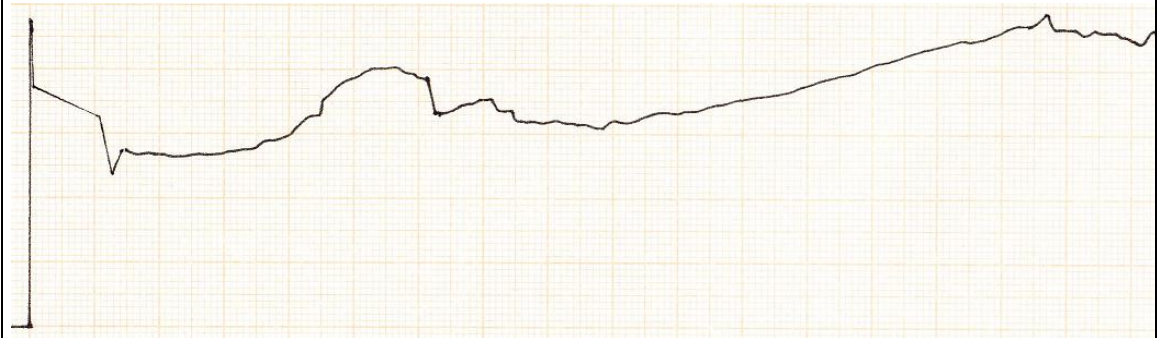
Gráfica 1

Esfuerzo vs deformación



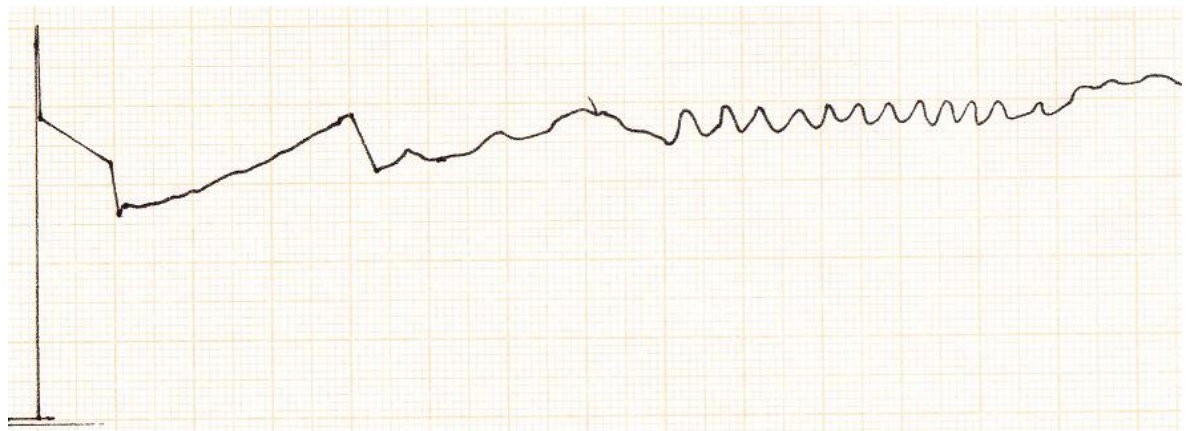
Gráfica 2

Esfuerzo vs deformación



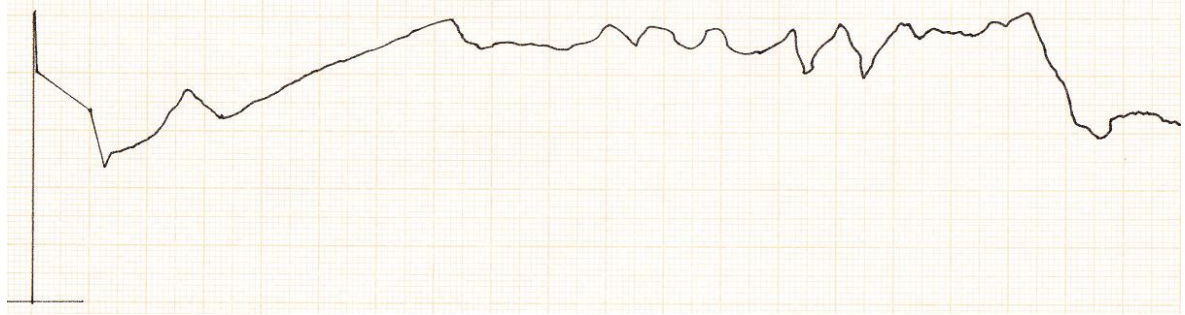
Gráfica 3

Esfuerzo vs deformación



Gráfica 4

Esfuerzo vs deformación



Gráfica 5

Esfuerzo vs deformación

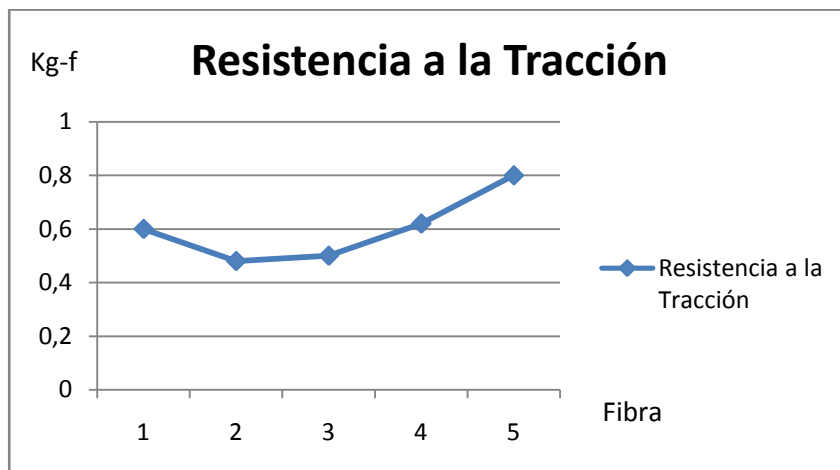


6.2.3 ANÁLISIS DE DATOS

Análisis de RPET normal, desgasificado y combinado.

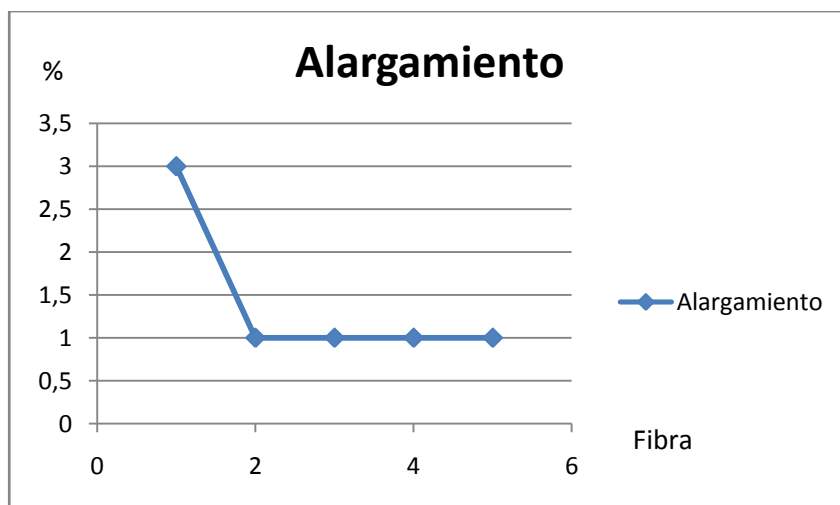
A continuación se presentan varias gráficas que muestran la resistencia a la tracción ofrecida por cada fibra así como su alargamiento porcentual.

Grafica 1: Resistencia a la tracción del RPET sin procesar.



Fuerza resistiva a la tracción promedio: 0.6 Kg-f.

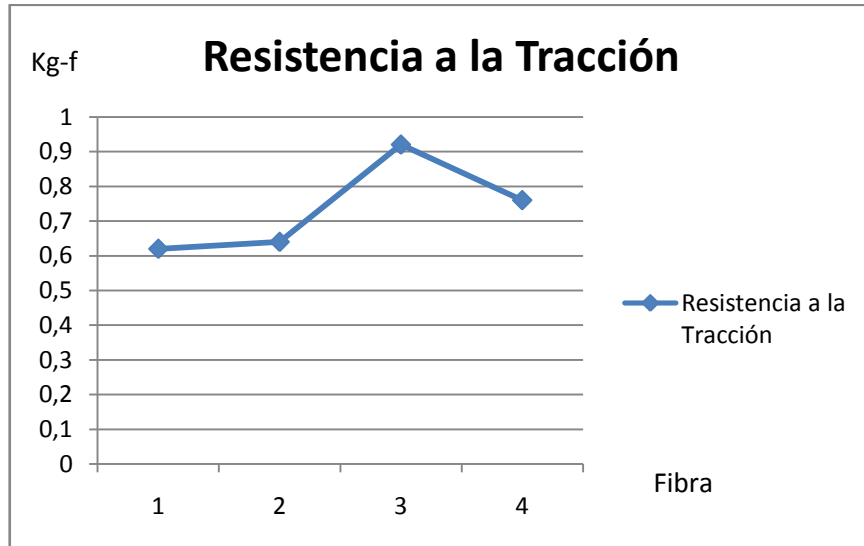
Grafica 2: Alargamiento porcentual del RPET sin procesar.



Alargamiento porcentual promedio: 1.4 %.

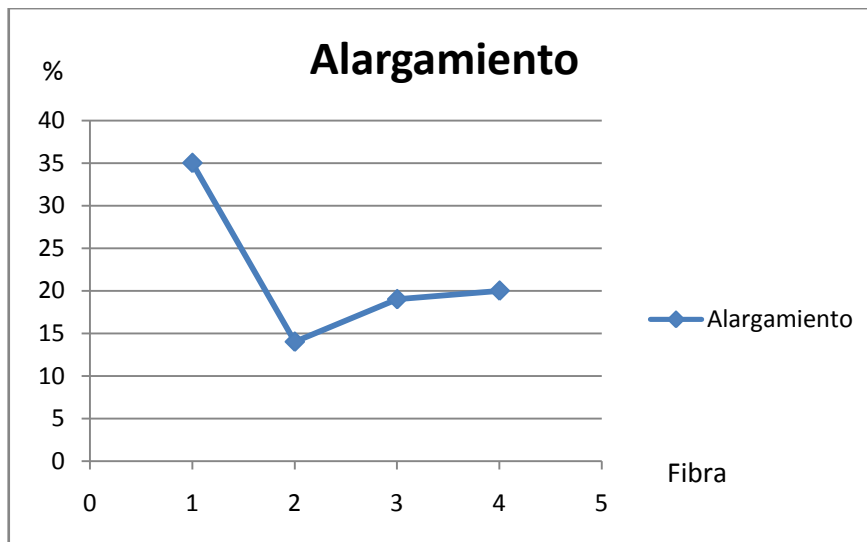
Análisis de RPET desgasificado

Grafica 3: Resistencia a la tracción del RPET desgasificado.



Fuerza resistiva a la tracción promedio: 0.74 Kg-f.

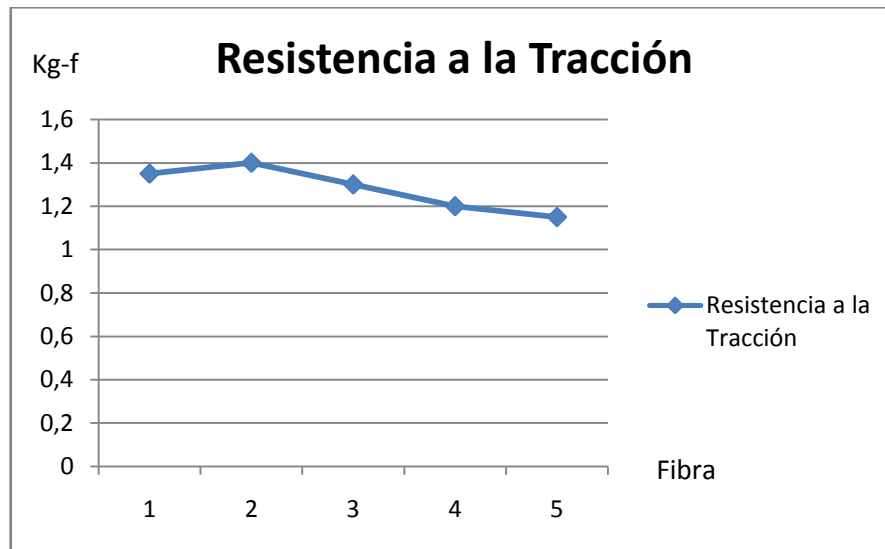
Grafica 4: Alargamiento porcentual del RPET desgasificado.



Alargamiento porcentual promedio: 22 %.

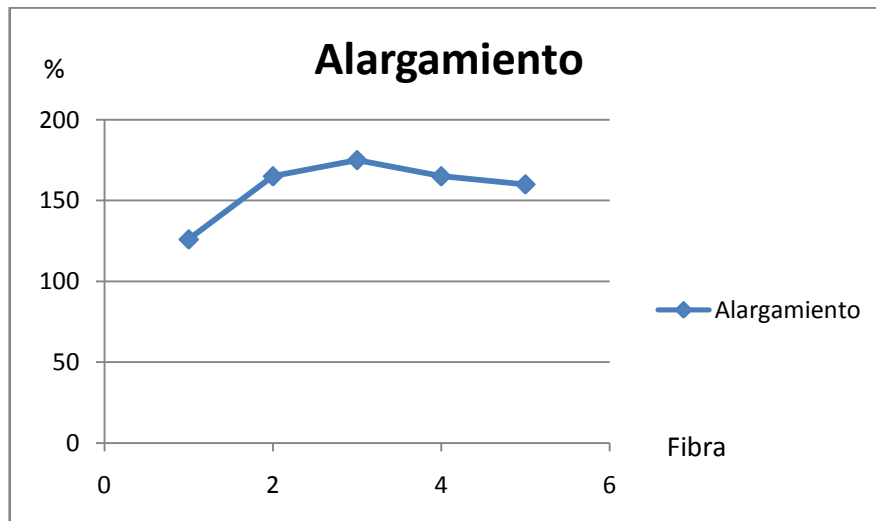
Análisis de RPET desgasificado y secado

Grafica 5: Resistencia a la tracción del RPET secado y desgasificado.



Fuerza resistiva a la tracción promedio: 1.28 Kg-f.

Grafica 6: Alargamiento porcentual del RPET secado y desgasificado.

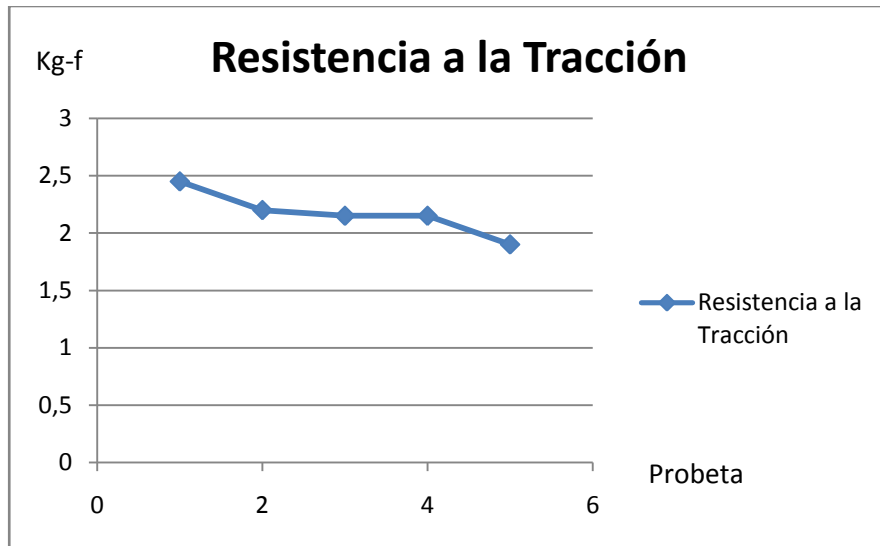


Alargamiento porcentual promedio: 158.2 %.

Análisis de PET virgen normal y desgasificado.

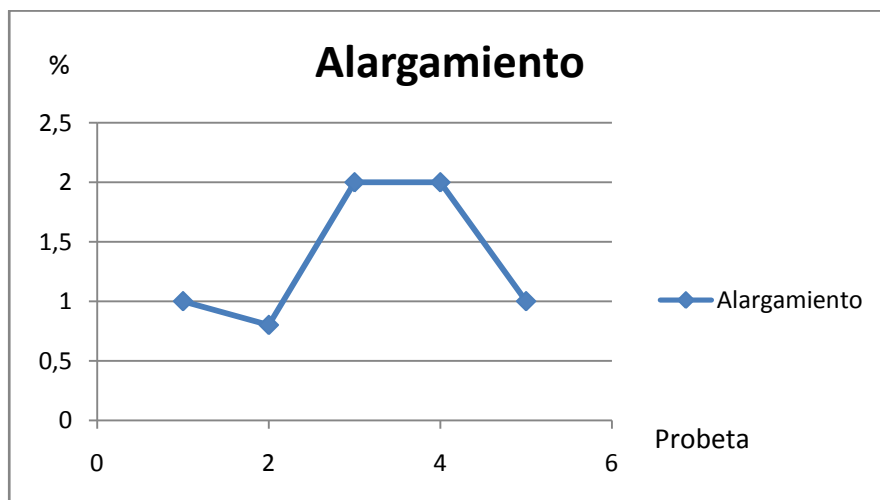
A continuación se presentan varias gráficas que muestra la resistencia a la tracción ofrecida por cada fibra así como el alargamiento.

Grafica 7: Resistencia a la tracción del PET virgen sin procesar.



Fuerza resistiva a la tracción promedio: 2.17 Kg-f.

Grafica 8: Alargamiento porcentual del PET virgen sin procesar.



Alargamiento porcentual promedio: 1.36 %.

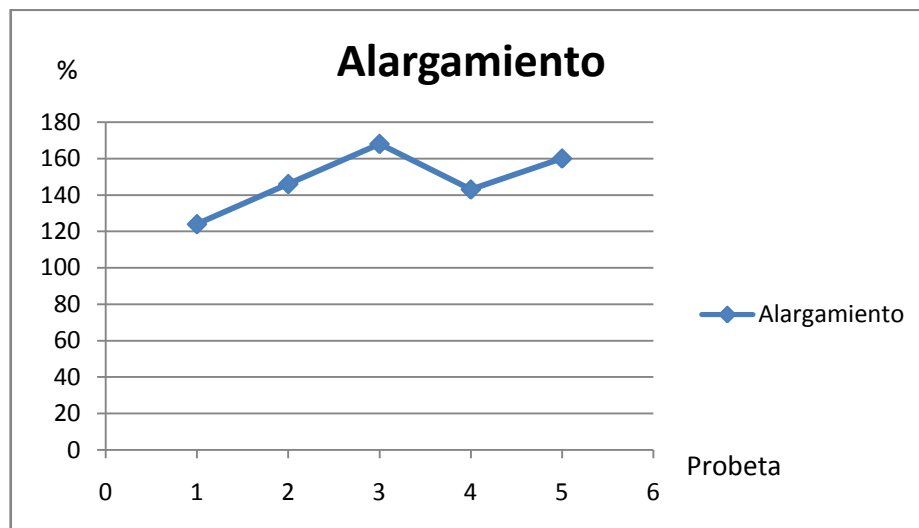
Análisis de PET virgen desgasificado.

Grafica 9: Resistencia a la tracción del PET virgen desgasificado.



Fuerza resistiva a la tracción promedio: 2.33 Kg-f.

Grafica 10: Alargamiento porcentual del PET virgen desgasificado.



Alargamiento porcentual promedio: 148,2 %.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los materiales frágiles pueden experimentar una gran variabilidad en su resistencia mecánica.

El presente análisis estadístico determina la frecuencia de probetas frágiles que aparecen durante la extrusión.

Se analiza 1000 mm de material extruido del que se obtienen 10 probetas de 100 mm cada una y a las que se somete a flexión hasta la rotura, las probetas que se rompan en la marca indican que ese es un punto frágil dentro de la muestra de 1000 mm de PET extruido.

Experimentalmente se observa que la resistencia media del PET reciclado depende de la desgasificación que se hace y depende del diámetro de las probetas obtenidas.

La resistencia de un material frágil no es una propiedad intrínseca del mismo, sino que lleva asociada una cierta variabilidad relacionada con la población de defectos intrínsecos del material considerado.

Igualmente, el tiempo de vida media de un material también muestra un comportamiento estadístico.

En este sentido, se considera que la resistencia mecánica del PET reciclado tiene un valor probabilístico.

La distribución más empleada para describir la resistencia mecánica de un material frágil es la desarrollada por Weibull también denominada "Teoría del eslabón más débil"³⁷, que propuso una fórmula empírica para relacionar la probabilidad de fallo con la tensión.

³⁷ <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/0727.PDF>



Figura 6.16: Flexión máxima del PET sin desgasificar.

En este caso durante la obtención de fibras de PET sin ningún proceso a una:

Temperatura: 175°C

Velocidad del tornillo: 45 rpm

Material a extruirse: PET sin ningún proceso

Se ha obtenido los siguientes datos del material reciclado:

Tiempo de extrusión: 12 min

Longitud de la fibra: 11 m

Diámetro promedio: 2.2 mm

Con estos datos obtenidos se realiza una prueba experimental de flexión cada 100 mm.

El resultado obtenido fue la rotura en todas las marcas.

Aplicando ésta misma prueba a una probeta de material PET virgen sin ningún proceso se obtuvo que de cada dos marcas una se rompe.



Figura 6.17: Flexión máxima del PET desgasificado.

Mientras que en el caso de obtención de fibra de PET Desgasificado a una:

Temperatura: 175°C

Velocidad del tornillo: 45 rpm

Material a extruirse: PET sin ningún proceso

Se ha obtenido los siguientes datos del material reciclado:

Tiempo de extrusión: 12 min

Longitud de la fibra: 10.4 mm

Diámetro promedio: 2 mm

Con estos datos obtenidos se realiza una prueba experimental de flexión cada 100 mm a una probeta de 1000 mm como en el caso de las probetas de PET sin desgasificar y desgasificado, respectivamente.

El resultado obtenido fue la rotura en una de cada tres marcas.

Aplicando ésta misma prueba a una probeta de material PET virgen desgasificado se obtuvo que la probeta de prueba no se rompe en ninguna de las marcas establecidas.

Con los resultados obtenidos se determinó la diferencia entre las fibras de PET desgasificado y sin desgasificar ya sean éstas provenientes de material reciclado o material virgen.

RPET sin desgasificar: Muestra ruptura por flexión en todas las marcas a lo largo de la probeta de ensayo.

PET virgen sin desgasificar: Muestra una relación de ruptura por flexión de 2:1 a lo largo de la probeta de ensayo.

RPET desgasificado: Muestra una relación de ruptura por flexión de 3:1 a lo largo de la probeta de ensayo.

PET virgen desgasificado: No muestra ruptura por flexión a lo largo de toda la probeta de ensayo.

CAPITULO 7

ANALISIS FINANCIERO ECONOMICO

7.1 COSTOS DIRECTOS

Tabla 7.1: Remuneración a profesionales.

Nombre	Cargo	Tiempos Horas	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Ing. José Pérez	Director	90	9	810
Ing. Patricio Riofrio	Codirector	90	9	810
			Subtotal 1	1620

Fuente: Propia

Tabla 7.2: Remuneración a estudiantes.

Nombre	Cargos	Tiempos Horas	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Sr. Jhonny Cuenca	Responsable del proyecto	240	10	2400
Sr. Jean Pierre Figueroa	Responsable del proyecto	240	10	2400
			Subtotal 2	4800

Fuente: Propia

Tabla 7.3: Materia Prima

Nº	Descripción	Cant.	Costo U.[USD]	Costo T.[USD]
1	PET molido	3 Kg	2	6
2	Pernos	4	0.30	1.20
3	Rodelas de presión	4	0.30	1.20
4	Tuercas	35	0.05	5
5	Teflón	1	0.50	0.50
6	Tubería diámetro 2"	1 m	7	7
7	Pintura acrílica	1gl	30	30
8	Thinner	2 gl	4	8
9	Guaipes	20	0.10	2
10	Bomba de Vacío de 1/2 hp	1	250	250
11	Pletina (material A36)	1	15	15
12	Interruptores eléctricos	1	3.50	3.50
13	Sicaflex	1	9	9
14	Masilla plástica	1/4 gl	6	6
15	Lijas de hierro	5	1.50	7.50
16	Lijas de agua	5	1.50	7.50
17	Masquin	2	1.50	3
18	1 botella de oxígeno	1	35	35
19	1 botella de acetileno	1	35	35
20	Varilla de bronce	1	2.50	2.50
21	Manguera	1	5	5
22	Acoples	2	1,5	3
23	Electrodos 60-11	1kilo	24	4.80
24	Electrodos 60-13	1kilo	30	6
25	Filtro	1	20	20
			Subtotal 3	419

Fuente: Propia

Tabla 7.4: Otros costos directos.

Descripción	Costo total (USD)
Pago de Luz	30
Pago de arriendo	40
Pago de derechos de grado	550
Pago de telepeaje	100
Pago de internet	30
Pago de combustible	350
Subtotal 4	1100

Fuente: Propia

7.2 COSTOS INDIRECTOS

Tabla 7.5: Insumos

Descripción	Cantidad utilizada	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Empaque circular	1	5.50	5.50
Empaque elipsoidal	1	3	3
Pintura	1 gl	6.00	6.00
Lijas	4	1.50	6.00
Cinta adhesiva	1	3.50	3.50
		TOTAL	24

Fuente: Propia

Tabla. 7.6: Accesorio y supervisión.

Oficio	Tiempos Horas	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Soldador	8	5.50	44
Técnico de Laboratorio	8	3.50	28
Pintor	1	2.50	2.50
Eléctrico	1	2.00	2.00
		TOTAL	76,5

Fuente: Propia

Tabla 7.8: Materiales

Descripción	Costo Total [USD]
Material de oficina	70
Gasolina para automóvil propio	150
Servicios básicos	170
Internet banda ancha	30
Copia e impresiones	70
Peajes	65
Tarjetas prepago de movistar y porta	80
Alimentación	180
Servicios médicos	80
Total	895

Fuente: Propia

7.3 FINANCIAMIENTO

Tabla 7.9: Financiamiento

	Detalle	Costo (\$)	Financiamiento
1	Remuneración a profesionales	1620	Estudiantes
2	Materiales, suministros.	2438	Estudiantes
3	Equipamiento, instalaciones y construcción.	148.50	Estudiantes
4	Gastos de ejecución	300	Estudiantes
5	Imprevistos	200	Estudiantes

TOTAL GENERAL: \$ 4906.50 Dólares americanos

Fuente: Propia

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES:

1. El sistema de desgasificación aplicado para la máquina de extrusión fue diseñado de manera que no sea necesario realizar cambios en el diseño original de la extrusora.
2. Existe una diferencia notoria en lo referente a la ductilidad que ofrece el RPET extruido sin aplicar desgasificado que cuando el proceso es aplicado, ésta diferencia se refleja claramente en el alargamiento porcentual de cada uno, 1.4% y 22% respectivamente.
3. El proceso de desgasificación mejora la resistencia a la tracción del RPET, los valores obtenidos tanto para el RPET extruido con desgasificación como para el que fue extruido sin desgasificar son diferentes, 2.24 MPa y 1.45 MPa respectivamente.
4. Al extruir PET virgen el secado no es necesario para obtener resultados de tracción y alargamiento elevados, el desgasificado aumenta únicamente la ductilidad como en el caso del RPET.
5. Las variaciones en los resultados obtenidos en probetas distintas obtenidas con un mismo proceso se deben a la falta de homogeneidad que se presenta al inicio del proceso, una vez alcanzada una condición homogénea de extrusión los resultados alcanzados son confiables.

8.2 RECOMENDACIONES:

1. La maquina extrusora debe ser precalentada y vaciada antes de extruir el material nuevo, la boquilla de extrusión debe estar libre de material que provoque que ésta se tapone. Antes de echar a andar el tornillo de extrusión hay que estar seguros de todas las termocuplas funcionan correctamente.
2. Para conseguir una correcta extrusión los parámetros de funcionamiento de la máquina extrusora deben estar bien calibrados, es decir. Temperatura de extrusión 175°C, velocidad del motor 45rpm y presión de vacío 2”Hg – 4”Hg.
3. El material a extruir debe ser secado previamente para mejorar sus propiedades de tracción y ductilidad de manera eficiente.
4. Antes de activar el tornillo de extrusión, el tanque de desgasificación debe estar completamente cerrado y la bomba de vacío encendida para evitar que exista contacto entre el material por fundir y el aire pues éste contiene humedad.
5. Para conseguir que la temperatura del tornillo se mantenga constante la tapa de protección del cilindro de extrusión se coloca de manera que éstas no se toque, así se evita que dicha tapa cause un efecto de aleta sobre el sistema cilindro-tornillo.

ANEXOS

ANEXO A: Planos.

ANEXO B: Tablas.

FUNCIONAMIENTO DE LA EXTRUSORA

PARTES	FUNCIONAMIENTO	VERIFICACION Y AJUSTES	OBSERVACIONES
Boquilla	Desalojo de material extruido	Aflojar antes de la extrusión ya que existe material sobrante de anteriores extrusiones.	<ul style="list-style-type: none"> • Aflojar con una llaves de tubo de 3". • Limpiar bien la boquilla ya que si esta tapada puede ocasionar graves accidentes.
Control digital de temperatura	Se debe subir o bajar según de acuerdo a la necesidad a la que se vaya a operar.	Verificar que los controles digitales estén marcado a 190	Ninguna
Tornillo y bandas calefactoras	Se debe precalentar a una temperatura de 190 °C durante 1 1/5.	Se debe verificar los bornes de las bandas calefactoras. Verificar el estado de las termocuplas	<ul style="list-style-type: none"> • Si alguna banda calefactora no funciona apagar el equipo ya que puede ocasionar accidentes. • Luego de estar 1 hora 1/5 debemos bajar la temperatura mediante los controles digitales a 180°C.
Motor reductor	Arrancar el motor reductor después de la 1 hora y 1/5	Verificar que la cadena de transmisión este templada	Al funcionar tener cuidado de dejar algún objeto cerca de la cadena de transmisión.
Variador de frecuencia	Baja o sube la velocidad del tornillo mediante una perilla reguladora.	Ajustar bien en la pantalla digital la velocidad de 45 rpm.	Ninguna

DESCRIPCIÓN DEL DESGASIFICADOR

PARTES	FUNCIONAMIENTO	VERIFICACION Y AJUSTES	OBSERVACIONES
Cámara de vaciado	Almacena el material extruido al vacio	Verificar antes de la extrusión que todo el material sobrante en la cámara de vaciado este completamente vacío o sea sin restos de material.	Ninguna.
Válvula de regulación	Regular el vaciado	Aflojar válvula de regulación para verificación de restos de material sobrante o taponamiento.	A veces se tapona esta válvula por motivos de la humedad que existe durante la extrusión.
Filtro	Almacena partículas pequeñas del material extruido.	Aflojar para realizar limpieza antes de la extrusión. Verificar fugas durante y antes del vaciado.	Ninguna
Bomba de vacio	Succiona aire en la cámara de vaciado y tornillo extrusor .	Verificar variaciones de voltaje. Ajustar bases de la bomba de vacío.	Ninguna

ANEXO C: Fotos.

Manufactura de bridas



Manufactura de tanque



Soldadura



Manufactura del soporte



Reciclaje plástico PET



Partes del desgasificador al vacio



ANEXO D: Fichas Técnicas.

Ficha técnica de la bomba de vacío.

V-VGC		4	5	6
m³/h	50 Hz	4,0	5,0	6,0
	60 Hz	4,8	5,3	7,2
mbar (abs.)•		2		
3~	50 Hz	115 / 230 V ± 10%		
	60 Hz			
1~	50 Hz	115 V ± 10%		
	60 Hz	110 V		
kW	50 Hz	0,20	0,28	0,32
	60 Hz	0,24	0,36	0,38
A (3~)	50 Hz	1,55/0,9	#	1,38/0,8
	60 Hz	2,0/1,15	6,4 / 0,88	2,0/1,15
A (1~)	50 Hz	1,95	#	3,0
	60 Hz	#	#	3,1
min⁻¹	50 Hz	2870		
	60 Hz	3400		
dB(A)	50 Hz	60	0,62	64
	60 Hz	61	0,64	66
kg		12	12	12,5
l		#	#	#
ZRK		12 (03)	12 (03)	12 (03)
ZVF		20 (51)	20 (51)	20 (51)
ZSA		12 (12)	12 (12)	12 (12)
ZMS (3~)	50 Hz	16/10	16/10	16/10
	60 Hz	24/16	24/16	24/16
ZMS (1~)	50 Hz	24	24	40
	60 Hz	#	#	40

m³/h	Saugvermögen	Capacity	Débit	Portata
mbar (abs.)•	Enddruck	Ultimate vacuum	Pression limite	Pressione finale
mbar (abs.)	Ansaugdruck	Suction pressure	Pression d'aspiration	Pressione di aspirazione
3~/1~	Motorausführung	Motor version	Exécution moteur	Esecuzione motore
kW	Motorleistung	Motor rating	Puissance moteur	Potenza motore
A	Stromaufnahme	Current drawn	Intensité absorbée	Corrente nominale
min⁻¹	Drehzahl	Speed	Vitesse rotation	Numero giri
dB(A) → DIN 45635	Mittlerer Schalldruckpegel	Average noise level	Niveau sonore moyen	Rumorosità media
kg	Max. Gewicht	Maximum weight	Poids maxi.	Peso massimo
l	Öleinfüllmenge	Oil capacity	Charge d'huile	Quantità olio
	Zubehör	Optional extras	Accessoires	Accessori
ZRK	Rückschlagventil	Non-return valve	Clapet anti-retour	Valvola di non ritorno
ZVF	Vakuumdichter Ansaugfilter	Vacuum tight suction filter	Filtre d'aspiration étanche	Filtro aspirazione ermetico
ZSA	Schlauchanschluß	Hose connection	Raccord tuyau	Attacco portagomma
ZMS	Motorschutzschalter	Motor starter	Disjoncteur moteur	Interruttore magnetotermico

Ficha técnica del vacuómetro.

Vacuómetros

Hoja de datos

FESTO

Vacuómetro VAM

Función



Temperatura
-40 ... +60 °C

Presión
-1 ... 0 bar

- Indicación analógica mediante Bourdon
- Los vacuómetros resisten una carga constante de hasta $\frac{3}{4}$ y una carga alterna de hasta $\frac{2}{3}$ del valor indicado en la escala



Datos técnicos generales		
Tamaño nominal del manómetro	40	63
Tipo	VAM-40-V1/0	VAM-63-V1/0
Conexión neumática	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$
Presión de funcionamiento [bar]	-1 ... 0	-1 ... 0
Fluido	Aire comprimido filtrado, lubricado o sin lubricar, vacío	
Construcción	Manómetro con muelle tubular	
Corresponde a la norma	DIN NE 837-1	
Tipo de fijación	Atornillable	
Posición de toma	Inferior, al centro	
Temperatura ambiente [°C]	-40 ... +60	
Resistencia a la corrosión CRC ¹⁾	4	
Clase de la precisión de medición	2,5	
Clase de protección	IP43	

1) CRC 4: Clase de resistencia a la corrosión 4 según estándar 940 070 de Festo

Componentes con considerable exposición al peligro de corrosión. Componentes en contacto con sustancias agresivas, por ejemplo en la industria alimentaria o química. Si es necesario, estas aplicaciones deberán consultarse con el departamento de ingeniería de Festo.

Indicador		
Tamaño nominal del manómetro	40	63
Tipo	VAM-40-V1/0	VAM-63-V1/0
Escala	Escala doble inHg (exterior) bar (interior)	
Margen de la escala [bar]	-1 ... 0	-1 ... 0
[inHg]	-30 ... 0	-30 ... 0

Pesos del producto [g]		
Tamaño nominal del manómetro	40	63
VAM	63	112

Materiales	
Cuerpo	Acero de aleación fina, inoxidable
Mirilla	Polycarbonato
Nota sobre los materiales	Sin cobre ni PTFE

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

1. Eugene A. Avallone, Theodore Baumeister III. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. Traducido del inglés por Francisco G. Noriega. 9na ed. México, McGraw-Hill, s.f. s. 14 pp. 49-54.
2. Juan P. Alcocer V. Diseño Mecánico. ESPE, Quito, 2007, pp 9-38.
3. Eugene. F. Megyesy. Pressure Vessel Handbook. Tulsa, Oklahoma, 2001.
4. Yanus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Traducido de inglés por Norma Angélica Moreno Chávez. 5ta ed. México, McGraw-Hill, 2006, pp 126-127.
5. Luis A. Escobar C. Fundamentos de química general. ESPE, Quito, s.f, pp. 99-113.
6. C. Naranjo. Procesos de manufactura, ESPE, Quito 1997.
7. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Dibujo técnico - mecánico, Quito, 1981.
8. M. Beltrán, A. Marcilla. Tecnología de Polímeros. s/e. s/f.

TESIS CONSULTADAS

- 1. PROCESO DE RECICLAJE MECÁNICO DEL PET, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA EXTRUSORA CON UNA CAPACIDAD DE 1 Kg/hr PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA ESPE, ELABORADO POR MARIO MALDONADO Y GARIEL MEDINA.**
- 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A LA FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS EN BASE DE FIBRA DE PET RECICLADO Y FIBRA DE VIDRIO, ELABORADO POR JAIME CALISTO Y HUGO SUAREZ.**
- 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE VACÍO PARA EL RECUBRIMIENTO METÁLICO EN PLÁSTICOS PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA F.I.M.E – E.S.P.E., ELABORADO POR HENRI GUALÁN Y RICHEARD VENEGAS.**

DIRECCIONES DE INTERNET

1. <http://pdf.directindustry.es/pdf/battenfeld-extrusionstechnik-gmbh/extrusion-de-a-pet-envases-20384-55512.html>
2. <http://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=31769>
3. http://www.oikos-tecnics.com/kuhne_planas.html
4. http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_68363_HTML.html?idDocumento=68363
5. http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm
6. <http://www.packaging.enfasis.com/notas/10444-recomendaciones-el-reciclado-del-pet>
7. <http://www.hrs-spiratube.com/es/productos/plantas-de-proceso-sistema-desaireacion.aspx>