



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO
PARA EMOBINAR FIBRAS DE PET RECICLADO PRODUCIDAS
POR LA EXTRUSORA DEL LABORATORIO DE MECANICA DE
MATERIALES”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

REALIZADO POR:

Sr. DANIEL ALEJANDRO FREIRE RODRÍGUEZ.

Sr. ADRIÁN FERNANDO HURTADO CASTILLO.

DIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI

CODIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRÍO

25 de febrero del 2011

Sangolquí – Ecuador

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA EMBOBINAR FIBRAS DE PET RECICLADO PRODUCIDAS POR LA EXTRUSORA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES” fue realizado en su totalidad por los señores Daniel Alejandro Freire Rodríguez y Adrián Fernando Hurtado Castillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. Carlos Sntaxi
DIRECTOR**

**Ing. Patricio Riofrío
CODIRECTOR**

Sangolquí, 25 de febrero del 2011.

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA
EMBOBINAR FIBRAS DE PET RECICLADO PRODUCIDAS POR LA
EXTRUSORA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES”**

ELABORADO POR:

Sr. Daniel Freire

Sr. Adrián Hurtado

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Xavier Sánchez
DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA

Sangolquí, 25 de febrero del 2011.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios que ha sido mi fortaleza, a mis padres y hermanos. A mi madre quien con su sacrificio fue la que me impulsó y apoyó para lograr la culminación del mismo, a mi padre quien me dio los estudios y me apoyó a seguir en esta carrera a pesar de haber tenido algunos tropiezos.

A mi abuelita Clemencia, quien me tiene en su corazón y en sus oraciones para que todo lo que me suceda sea de bien, y a mi abuelito Antonio, a quien le hubiese enorgullecido verme cumplir esta meta.

Daniel Alejandro Freire Rodríguez

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a mis padres, quienes con mucho esfuerzo y sacrificio me apoyaron en todo momento,

A la Virgen Natividad del Huayco, a quien con fe y devoción me encomendé para recibir la fuerza y espíritu necesario para culminar mis estudios.

Adrián Fernando Hurtado Castillo

AGRADECIMIENTO

A mi familia, compañeros y amigos, por el apoyo y consejos brindados en todo este tiempo.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército quienes han sido los facilitadores de conocimiento y experiencia en mi formación académica.

A mis amigos Chupe Team que fue con quienes compartimos varias experiencias dentro y fuera de las aulas.

A mis amigos del Coro Espe, con los que aprendí y compartí experiencias inigualables que las llevaré en mi corazón; en especial a La Selección quienes han sido verdaderos amigos y consejeros, y han sabido demostrar su gran calidad humana.

A mi compañero de tesis Adrián; y a un gran amigo Jean Pierre Figueroa por su tiempo y colaboración.

Daniel Alejandro Freire Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A mi tía María del Carmen Hurtado, por ser la persona que me impulso a seguir mis estudios, a mi familia por permanecer siempre juntos, aun en los momentos más difíciles.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, quienes son los forjadores del presente y futuro de la Patria.

Al Capt. De Av. Marcelo Ávila, por su compañerismo y amistad reflejadas dentro y fuera de las aulas, a Diego Garcés con quien compartí gratas experiencias en la vida universitaria.

A todos mis amigos, quienes en su momento dedicaron su ayuda y motivación para culminar mi carrera profesional, en especial a Santiago Villafuerte, por su calidad humana y don de gente.

A mi compañero de toda la carrera y de tesis Daniel; y a un gran compañero y amigo Jean Pierre Figueroa quien brindo su ayuda para la culminación de este proyecto.

Adrián Fernando Hurtado Castillo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	viii
TABLAS.....	xii
FIGURAS.....	xiv
NOMENCLATURA.....	xvi
ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
CAPITULO 1.....	19
GENERALIDADES.....	19
1.1 ANTECEDENTES.....	19
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 GENERAL.....	20
1.3.2 ESPECÍFICOS:.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	20
1.5 ALCANCE.....	20
CAPITULO 2.....	21
MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1 MARCO TEÓRICO.....	21

2.1.1 TEREFTALATO DE POLIETILENO PET	21
2.1.2 CLASIFICACIÓN.....	23
2.1.3 PROCESOS DE RECICLAJE	24
2.1.4 CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL RECICLADO DE PET	29
2.1.5 DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS	32
2.1.6 APLICACIONES DE RECICLADO DE PET	36
2.1.7 IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LOS DESECHOS PLÁSTICOS	36
2.2 MARCO CONCEPTUAL	39
2.2.1 BOBINADORA.....	39
2.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA BOBINADORA.....	40
2.2.3 TIPOS DE BOBINADORAS.	41
2.2.4 REQUERIMIENTOS PARA EL RECICLADO DE PET.....	43
2.2.5 REQUISITOS ÓPTIMOS PARA EL PROCESO DE RECICLADO DE PET.	44
2.2.5.1 HUMEDAD.....	44
2.2.5.2 CONTROL DE CONTAMINACIÓN.	44
2.2.5.3 SOLUCIONES DE CONTAMINACIÓN.	44
2.3 MARCO CONTEXTUAL.....	51
2.3.1 EXTRUSIÓN DEL PET.....	51
2.3.2 DIFICULTADES.	53
2.3.3 SOLUCIONES.....	54
CAPITULO 3	55
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	55
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO	55
3.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.	55
3.3 VARIABLES DEL PROCESO.	56
3.4 RESTRICCIONES DE DISEÑO	56
3.5 MATRIZ DE SELECCIÓN.	57
3.5.1 ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN.	57
CAPITULO 4	61
DISEÑO DE LA BOBINADORA.....	61

INTRODUCCIÓN	61
4.1 DISEÑO MECÁNICO	63
4.1.1 FACTOR DE SEGURIDAD (n)	63
4.1.2. DISEÑO DE LA BOBINADORA.....	64
4.1.2.1 DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ Y DE TRANSMISIÓN.....	64
4.1.2.2 DISEÑO DEL EJE DEL TAMBOR GUÍA HILO	69
4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	80
4.2.1 SOPORTES ESTRUCTURALES	81
CAPITULO 5	85
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	85
5.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	85
5.1.1 EQUIPOS:	85
5.1.2 HERRAMIENTAS:.....	86
5.2 MANO DE OBRA.....	86
5.3 DIAGRAMAS DE PROCESOS.....	87
CAPITULO 6	91
PRUEBAS.....	91
6.1 PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	91
6.1.1 PROCEDIMIENTO	91
6.1.1.1 PROCESO DE SECADO.....	91
6.1.1.2 EXTRUSIÓN Y DESGASIFICADO	91
6.1.1.3 BOBINADO	93
6.2 PRUEBAS DE LABORATORIO	94
6.2.1 PROCEDIMIENTO	94
6.2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS.....	98
6.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	100
CAPITULO 7	107
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	107
7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	107
7.1.1 COSTOS DIRECTOS.....	107
7.1.2 COSTOS INDIRECTOS	108

7.1.2.1 DE CONSTRUCCIÓN.....	108
7.1.2.2 DE ESTUDIO.....	109
7.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....	110
CAPITULO 8	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
8.1 CONCLUSIONES	111
8.2 RECOMENDACIONES.....	112
ANEXOS.....	113
REFERENCIAS	141

TABLAS

Tabla 1.1 Características del PET y RPET	27
Tabla 2.2 Tipos de máquinas bobinadoras	42
Tabla 3.1 Matriz de análisis de valor	59
Tabla 3.2: Matriz de decisión.....	60
Tabla 4.1 Factores de seguridad	63
Tabla 4.2 Especificaciones del motor eléctrico	65
Tabla 4.3 Especificaciones del variador de frecuencia	65
Tabla 4.4 Tolerancias recomendadas para fabricación de las poleas	69
Tabla 4.5 Propiedades del acero SAE 1018	75
Tabla 4.6 Tabla de resultados de análisis por resistencia	75
Tabla 4.7 Tabla de resultados de análisis por fatiga.....	77
Tabla 4.8 Características de los rodamientos para el eje tambor guía hilo	79
Tabla 5.1 Equipos.....	85
Tabla 5.2 Herramientas	86
Tabla 6.1 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 1.....	98
Tabla 6.2 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 2.....	98
Tabla 6.3 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 3.....	99
Tabla 6.4 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 4.....	99
Tabla 6.5 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 1	101
Tabla 6.6 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 2	102
Tabla 6.7 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 3	103
Tabla 6.8 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 4	105
Tabla 6.9 Resumen de resultados (media de valores por muestra)	106
Tabla 7.1 Remuneración a profesionales.	107
Tabla 7.2 Remuneración a estudiantes.	107

Tabla 7.3 Materia prima	107
Tabla 7.4 Otros costos directos	108
Tabla 7.5 Insumos	108
Tabla 7.6 Asesoría y supervisión	108
Tabla 7.7 Consumo eléctrico	108
Tabla 7.8.- Asesoría y supervisión.....	109
Tabla 7.9.- Materiales e insumos.....	109
Tabla 7.10.- Consumo eléctrico	109
Tabla 7.11.- Total general costos del proyecto	110
Tabla 7.12.- Financiamiento del proyecto	110

FIGURAS

Figura 2.1	Limpieza y separación de plásticos.....	24
Figura 2.2	Proceso de reciclado mecánico avanzado	25
Figura 2.3	Reciclado químico de envases PET.....	27
Figura 2.4	Esquema del proceso utilizando la tecnología vacurema.....	30
Figura 2.5	Proceso recomendado para el reciclaje del PET.	31
Figura 2.6	Pacado	45
Figura 2.7	Esquema y forma de un molino convencional para PET	46
Figura 2.8	Cinta de transportación para clasificación y separación.....	47
Figura 2.9	Tambores con paletas para flotación de poliolefinas.....	47
Figura 2.10	Secador centrifugador	48
Figura 2.11	Línea de lavado secado centrifugado.....	49
Figura 2.12	Extrusores para PET	50
Figura 2.13	Diseño genérico de un extrusor.....	51
Figura 3.1	Tensión en los hilos de PET.....	56
Figura 3.2	Mesa con movimiento vertical.	57
Figura 3.3	Bobinado circunferencial o de lazo.....	57
Figura 3.4	Bobinado helicoidal con cinta angosta y gran o mediano ángulo... ..	58
Figura 3.5	Bobinado helicoidal con un ángulo de bobinado pequeño.	58
Figura 4.1	Esquema maquina bobinadora	62
Figura 4.2	Esquema maquina bobinadora con su sistema motriz.....	64
Figura 4.3	Tolerancias de instalación y templado de la banda.....	68
Figura 4.4	Forma y dimensiones recomendadas para las poleas	69
Figura 4.5	Esquema del eje del tambor guía hilo	69
Figura 4.6	Tambor guía hilo seleccionado	80
Figura 4.7	Reacciones en los apoyos	81
Figura 4.8	Estructura deformada.....	81
Figura 4.9	Diagramas de cargas equivalentes, fuerza cortante, momento, deflexión, en el miembro inclinado	82
Figura 4.10	Diagramas de cargas equivalentes, fuerza cortante, momento, deflexión, en el miembro horizontal.....	82
Figura 4.11	Análisis demanda capacidad, simétrico para los cuatro apoyos principales.....	83

Figura 4.12 Análisis demanda capacidad, para los elementos soportes de los 4 apoyos principales.	84
Figura 6.1 Secado de RPET.....	91
Figura 6.2 Evacuación de material residual.....	92
Figura 6.3 Variador de frecuencia extrusora y control análogo de temperatura respectivamente.....	92
Figura 6.4 Colocación de RPET en la boquilla de alimentación de la desgasificadora.....	93
Figura 6.5 Material continuo y estable producido por la extrusora.....	93
Figura 6.6 Variador de frecuencia bobinadora.....	94
Figura 6.7 Bobinado.....	94
Figura 6.8 Muestra de fibra para prueba de tracción.....	95
Figura 6.9 Máquina de ensayos AMSLER.....	96
Figura 6.10 Papel milimetrado montado en la máquina de ensayos AMSLER.....	96
Figura 6.11 Placa de escalas de la máquina de ensayos AMSLER.....	97
Figura 6.12 Gráfico arrojado por la máquina de ensayos AMSLER.....	97
Figura 6.13 Ejemplo de ensayo de tracción de fibra de RPET.....	100
Figura 6.14 Gráfico esfuerzo último para probeta de RPET 1.....	102
Figura 6.15 Gráfico esfuerzo último para probeta de RPET 2.....	103
Figura 6.16 Gráfico esfuerzo último para probeta de RPET 3.....	104
Figura 6.17 Gráfico esfuerzo último para probeta de RPET 4.....	105
Figura 6.18 Gráfico resistencia a la tracción media de todas las muestras...	105

NOMENCLATURA

σ_{adm} : Esfuerzo permisible
Kd: Factor de servicio
Pn: Potencia nominal del motor
Pd: Potencia de diseño
dp: Diámetro polea pequeña
Dp: Diámetro polea grande
N: Revoluciones polea grande
n: Revoluciones polea pequeña
Pbb: Potencia básica de banda
Pnb: Potencia nominal de banda
Pab: Potencia adicional de banda
Pcb: Potencia corregida de banda
Kt: Factor de corrección de longitud de banda
 ρ : Densidad
m: Masa
v: Volumen
W: Peso
g: Gravedad
V: Velocidad lineal de banda
 σ' : Esfuerzo de Von Mises
 ω : Velocidad angular
n: Factor de seguridad
S_{ut}: Esfuerzo último a tracción
Fc: Fuerza centrífuga
T: Torque
Se: Límite de resistencia a la fatiga
Ka: Factor de superficie
Kb: Factor de tamaño
Kc: Factor de confianza
Kd: Factor de temperatura

ANEXOS

ANEXOS.....	113
ANEXO 1: PLANOS.....	114
ANEXO 2: FOTOS.....	132
ANEXO 3: CATALOGOS.....	134
REFERENCIAS.....	141

RESUMEN

En el proceso de extrusión del RPET (Polietileno Tereftalato Reciclado) éste pierde propiedades mecánicas que lo hacen pocas veces reutilizable.

El presente proyecto es complementario a varios proyectos que desarrollan el proceso de reciclaje del PET en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, para su extrusión, los cuales tratan de que el PET mantenga sus propiedades mecánicas al momento de ser extruido debido principalmente a la contaminación del material PET, por presencia de gases volátiles y vapor de agua que emanan del propio polímero cuando éste empieza a fundirse.

La finalidad de este proyecto es bobinar las fibras de PET que produce la extrusora que se encuentra en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, utilizando los proyectos afines que permiten obtener un material con mejores propiedades, como es la secadora de PET, que se encarga de quitar la humedad que tiene el PET reciclado a utilizar en la extrusora, y la desgasificadora que se encarga de extraer los gases que se producen dentro del tornillo de la extrusora mientras se realiza el proceso de extrusión, procesos que mejoran las propiedades de las fibras obtenidas de la extrusión.

Por lo que se diseñó y construyó una máquina bobinadora para las fibras que se producen, debido a que sin esta, la persona que utilizaba la extrusora tenía que bobinar o enrollar estas fibras en su mano, teniendo el riesgo de resultar quemado por la temperatura a la que las fibras salen de la extrusora.

Para cuantificar las mejoras en el PET luego de extruido, se obtienen fibras circulares con un diámetro medio de 0.47 mm, que son sometidas luego a un ensayo de tracción que nos indicará el esfuerzo que estas soportan, 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 en este caso será el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército, el cual está ubicado en la Provincia de Pichincha en el Cantón Sangolquí.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En la Carrera de Ingeniería Mecánica, en el laboratorio de Mecánica de Materiales existen algunos proyectos relacionados con el reciclaje del PET, como la extrusora, el desgasificador, etc., lo que permite continuar con proyectos que vayan complementándose entre sí.

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.

La importancia de embobinar las fibras plásticas a la salida de la extrusora es que estas no se acumulen formando una masa que no pueda ser utilizada sino que estas se enrollen de una manera ordenada como un carrete de hilo, para una mejor manipulación al momento de ser reutilizado.

El PET al ser uno de los polímeros más utilizados en las diferentes industrias, ha provocado que tenga gran demanda, pero al no ser biodegradable representa un gran problema de contaminación, este problema puede ser disminuido en gran parte al reciclarlo pues una de las grandes ventajas del PET es precisamente que este es 100% reciclable.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que el PET no es un material totalmente biodegradable, se busca la implementación de un sistema complementario al proceso de extrusión de PET que se realiza en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, que permita recolectar el material extruido de una forma ordenada y fácil.

Por lo que se diseñará y construirá un sistema mecánico que permita bobinar las fibras de PET que produce la extrusora del Laboratorio de Mecánica de Materiales. Utilizando los otros proyectos como la Secadora de PET y la desgasificadora, permiten obtener fibras recicladas con propiedades mecánicas similares a las de PET virgen.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar y construir un sistema mecánico para embobinar fibras de PET producidas por la extrusora del Laboratorio de Mecánica de Materiales

1.3.2 ESPECÍFICOS:

1. Realizar un análisis y selección de alternativas posibles.
2. Realizar el diseño de un mecanismo para embobinar las fibras de PET obtenidas luego del proceso de extrusión.
3. Construir y realizar las pruebas del mecanismo que facilitará el manejo de fibras de PET obtenidas luego del proceso de extrusión.
4. Evitar la formación de un acopio de fibras de PET obtenidas luego del proceso de extrusión.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La implementación de este sistema de bobinado es indispensable para que las fibras producidas por la extrusora del Laboratorio de Mecánica de Materiales puedan ser aprovechadas en su totalidad, a una velocidad que permita obtenerlas con un diámetro constante.

Sin este sistema las fibras eran recogidas de forma manual, esperando que salga aproximadamente unos 100 mm de la boquilla para empezar a halarlo y enrollarlo en las manos del operador, lo cual era riesgoso por la temperatura a la que salen de la boquilla de la extrusora, por la diferencia de diámetros que se obtenían por no enrollarlo a una velocidad constante y porque había desperdicio de material que se acumulaba en la boquilla y que no podía ser estirado y enrollado por el operador.

1.5 ALCANCE

Construir un sistema de bobinado apropiado, que permita enrollar las fibras de RPET producidas por la extrusora, permitiendo enrollarlas con un diámetro constante y sin riesgos para el operador.

CAPITULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 TEREFTALATO DE POLIETILENO PET

El PET, cuyo nombre técnico es Polietileno Tereftalato, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941. Catorce años más tarde, en 1951 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster. Desde entonces hasta hoy en día, la fabricación de PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico, logrando un alto nivel de calidad y una diversificación en sus empleos.

A partir de 1976 se emplea en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas, los cuales, al principio eran botellas gruesas y rígidas, pero hoy en día, sin perder sus excelentes propiedades como envase, son mucho más ligeros. La fórmula química del polietileno tereftalato o politereftalato de etileno, en resumen, PET, es la siguiente:



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, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales como por ejemplo, el PVC. Presenta una demanda creciente en todo el mundo, lo cual se aprecia, por ejemplo, en los 450 millones de toneladas de PET empleados anualmente en Europa, casi 300 toneladas en envases. Su empleo actual es muy diverso; como envase, quizás el uso más conocido, se emplea en bebidas carbónicas, aceite, aguas minerales, zumos, té y bebidas isotónicas, vinos y bebidas alcohólicas, salsas y otros alimentos, detergentes y productos de limpieza, productos cosméticos, productos químicos, lubricantes y productos para tratamientos agrícolas. En forma de film, se emplea en

contenedores alimentarios, láminas, audio / video y fotografía, blisters, films "High-Tech", embalajes especiales, aplicaciones eléctricas y electrónicas. Además, existe un amplio sector donde este material se emplea en la construcción de diversos elementos; fibra textil, alfombras, tuberías, perfiles, piezas inyectadas, construcción, automoción, etc.

El PET, en resumen, es un plástico de alta calidad que se identifica con el número uno, o las siglas PET, o "PETE" en inglés, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según sistema de identificación SPI.

La fabricación de estos envases se consigue en un proceso de inyección-estirado-soplado que parte de la resina de PET.

Esta resina se obtiene a partir de dos materias primas derivadas del petróleo; etileno y paraxileno, presentándose en forma de pequeños cilindros o chips, los cuales, una vez secos se funden e inyectan a presión en máquinas de cavidades múltiples de las que salen las preformas, recipientes similares a tubos de ensayo pero con rosca para un tapón. Estas son sometidas a un proceso de calentamiento controlado y gradual y a un moldeado donde son estirados por medio de una varilla hasta el tamaño definitivo del envase. Por último son "soplados" inflados con aire a presión limpio hasta que toman la forma del molde. Gracias a este proceso, las moléculas se acomodan en forma de red, orientándose en dos direcciones; longitudinal y paralela al eje del envase, propiedad denominada biorientación la cual aporta la elevada resistencia mecánica del envase.



Símbolo identificativo del PET

2.1.2 CLASIFICACIÓN

Se pueden distinguir tres tipos fundamentales de PET, el grado textil, grado botella y grado film.

- a) **El grado textil** fue la primera aplicación industrial del PET. Durante la segunda guerra mundial, se usó para reemplazar las fibras naturales como el algodón o el lino. Al poliéster (nombre común del PET grado Textil), se le reconocieron excelentes cualidades desde un inicio para el progreso textil, entre las que se encuentra su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además de fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secado rápidos sin necesidad de planchado). Entre algunas limitaciones que tiene este material son: difícil tintura, la formación de pilling (bolitas) y la acumulación de electricidad estática, problemas para los que se han desarrollado soluciones eficaces.
- b) **El grado botella** se comenzó a producir en Europa a partir de 1974 y su primera comercialización se llevó a cabo en USA. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente 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. La más reciente y exitosa aplicación del PET, es el envasado de aguas minerales, también se ha comenzado a utilizar en el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel.

El grado botella se clasifica en:

1. **Reciclables:** Sí a sus manos llega un envase plástico, examine su identificación internacional: recuerde el triángulo, el número 1 y la sigla PET. Son reciclables todos los envases transparentes de cualquier forma o tamaño, que hayan contenido gaseosa, agua, licores, medicamentos, vinagre, salsas o jabón líquido.

2. **No reciclables:** No podemos reciclar aún los envases de colores fuertes y los transparentes que hayan contenido combustibles, aceite, venenos y agroquímicos.

c) **El grado film**, se utiliza en gran cantidad para la fabricación de películas fotográficas, de rayos X y de audio.

2.1.3 PROCESOS DE RECICLAJE

a) Reciclado Mecánico

Es el proceso de reciclado más utilizado, el cual consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido como se muestra a continuación:



Figura 2.1 Limpieza y separación de plásticos¹

¹ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm



Figura 2.2 Proceso de reciclado mecánico avanzado²

Los plásticos escogidos y gruesamente limpiados (etiquetas, papeles, residuos de material biodegradable) pasan por un molino o una trituradora. Este proceso se puede realizar en diferentes órdenes de sucesión, dependiendo del grado de contaminación de los plásticos y de la calidad del producto reciclado. La preparación final del producto empieza con el lavado y la separación de sustancias contaminantes, proceso que se puede repetir si es necesario. Después el material pasa por una centrifuga y secadora y se almacena en un silo

² http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

intermedio. En el caso ideal, este silo sirve también para homogeneizar más el material, al fin de obtener una calidad constante.

El producto triturado, limpio, seco y homogéneo se alimenta a una extrusora, y, tras el proceso de granceado, se obtiene la granza lista para ser procesada por diferentes técnicas. La granza de plásticos reciclados se puede utilizar de diferentes maneras, según los requerimientos para el producto final:

- Procesado del producto reciclado directamente, con la formulación que sea adecuada a su aplicación concreta. En este caso, las piezas obtenidas tienen en general propiedades menores a las fabricadas con polímero virgen, lo que es suficiente para la utilidad deseada.
- Mezcla de granza reciclada con polímero virgen para alcanzar las prestaciones requeridas. El ejemplo típico es la adición de polímero virgen a la mezcla de termoplásticos.
- Coextrusión del producto reciclado. Un ejemplo de esta técnica es la fabricación de recipientes para detergentes, en la que la capa intermedia puede ser de polímero reciclado y la interior (contacto con el producto) y la exterior son de polímero virgen.

Propiedades del PET reciclado mecánicamente

Las diferencias en las propiedades del PET reciclado mecánicamente comparadas con las del PET virgen (tabla 1.1) pueden ser atribuidas principalmente a la historia térmica adicional experimentada por el material reciclado, la cual da como resultado un decremento en el peso molecular, junto con un incremento en el ácido carboxílico, color y nivel de acetaldehído.

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

Tabla 1.1 Características del PET y RPET

Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young MPa	1890	1630
Resistencia a la rotura MPa	47	24
Elongación a la rotura %	3,2	110
Resistencia al impacto J m ⁻¹	12	20
IV dl g ⁻¹	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión °C	244 – 254	247 - 253
Peso molecular g mol ⁻¹	81600	58400

Fuente: [http://www. Petpower.aspx](http://www.Petpower.aspx)

b) Reciclado Químico

Para el reciclado químico, se han desarrollado distintos procesos. Dos de ellos, la metanólisis (figura 2.3) y la glicólisis, se llevan a cabo a escala industrial. El PET se deshace o depolimeriza: se separan las moléculas que lo componen y estas se emplean para fabricar otra vez PET. Dependiendo de su pureza, este material puede usarse, incluso, para el envasado de alimentos.



Figura 2.3 Reciclado químico de envases PET³

³ <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/procedimientoreciclado.html>

Dentro del reciclado químico los principales procesos son:

- **Pirólisis:** Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.
- **Hidrogenación:** En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.
- **Gasificación:** Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.
- **Chemolysis:** Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.
- **Metanólisis:** Es un avanzado proceso de reciclado (figura 2.3) que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietileno tereftalato están intentando desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonatadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

De todas las alternativas de valorización quizá ninguna esté hecha tan a medida de los plásticos como el reciclado químico. Es muy probable que se transforme en

la vía más apropiada de recuperación de los residuos plásticos, tanto domiciliarios como los provenientes del scrap (post-industrial), obteniéndose materia prima de calidad idéntica a la virgen. Esto contrasta con el reciclado mecánico, donde no siempre se puede asegurar una buena y constante calidad del producto final. El reciclado químico ofrece posibilidades que resuelven las limitaciones del reciclado mecánico, que necesita grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final. Los residuos plásticos domiciliarios suelen estar compuestos por plásticos livianos, pequeños, fundamentalmente provenientes de los envases, pueden estar sucios y presentar sustancias alimenticias. Todo esto dificulta la calidad final del reciclado mecánico, ya que se obtiene un plástico más pobre comparado con la resina virgen. Por lo tanto, los productos hechos de plástico así reciclado se dirigen a mercados finales de precios bajos. Por el contrario, el reciclado químico supera estos inconvenientes, ya que no es necesaria la clasificación de los distintos tipos de resinas plásticas proveniente de los residuos. En este proceso pueden ser tratados en forma mixta, reduciendo costos de recolección y clasificación. Además, lleva a productos finales de alta calidad que sí garantizan un mercado.

c) Reciclado Energético

En cuanto al uso del PET como combustible alternativo, los envases pueden emplearse para generar energía ya que este material tiene un poder calorífico de 6.3 Kcal/Kg, y puede realizar una combustión eficiente. Esto es posible ya que durante su fabricación no se emplean aditivos ni modificadores, lo cual permite que las emisiones de la combustión no sean tóxicas, obteniéndose tan sólo bióxido de carbono y vapor de agua.

2.1.4 CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL 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).

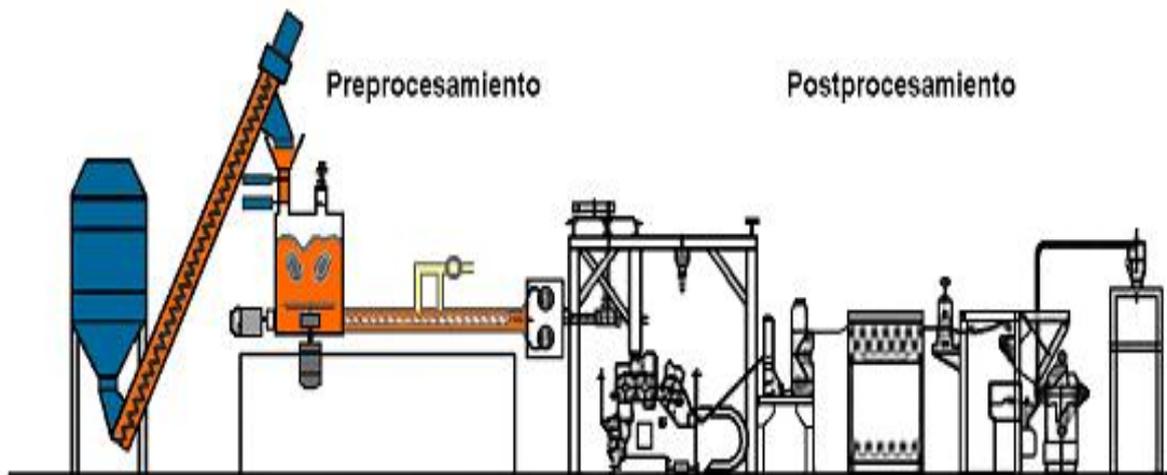


Figura 2.4 Esquema del proceso utilizando la tecnología vacurema.⁴

En este caso es muy importante la etapa de procesamiento responsable de la calidad el 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 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.

4

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



Figura 2.5 Proceso recomendado para el reciclaje del PET.⁵

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.

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.

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.

⁵ <http://www.plastico.com/b2bportales/N07A.jsp?URL=/tp/formas/74452/1-400.jpg&PIE=Figura+1%3A+Diagrama+de+flujo+esquem%E1tico+para+el+reciclaje+de+botellas+de+PET>

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.

2.1.5 DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Los polímeros termoplásticos poseen un rango de temperaturas, conocido como *temperatura de trabajo*, en este rango el polímero fundido puede ser procesado, si el polímero experimenta un aumento en su temperatura debido al incremento de calor, o fricción, por encima de su temperatura de trabajo, puede ocurrir una despolimerización o alguna otra reacción química alterna que se refleja en la pérdida de propiedades mecánicas y químicas del material.

Polímeros termoestables (también conocidos como termofijos) son degradados al incrementar su temperatura hasta llegar a la temperatura de degradación; esto ocurre sin fundir, ya sea una transición termodinámica (T_m) o no termodinámica (T_g). Un polímero como el Kevlar, cuya rigidez química lo hace más resistente que el Nylon tiene la desventaja de su difícil procesamiento y reciclaje, pues aun cuando no es un polímero termoestable, alcanza su temperatura de degradación antes de pasar al estado ahulado (fundir). Otras diferentes moléculas orgánicas presentan este fenómeno aun cuando no son macromoléculas. Con la finalidad de entender el rol de los plásticos degradables en el sistema de gestión de los residuos sólidos, es importante conocer las diferentes clases de materiales degradables para relacionarlos con las aplicaciones específicas. Los plásticos degradables son primariamente biodegradables o fotodegradables y han sido clasificados en las siguientes categorías:

Biodegradable

Materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente.

Son obtenidos usualmente por vía fermentativa y se los denomina también Biopolímeros. Como ejemplos tenemos el BiopolTM poliésteres copolímeros del tipo polihidroxibutirato (PHB)/polihidrovalerato (PHV), el Pululano (que es un polisacárido), el PLA (Ácido poli láctico), etc.

Este último (PLA) es uno de los más conocidos y está basado 100% en el almidón obtenido del maíz, trigo o papas. El almidón es transformado biológicamente (fermentación) mediante microorganismos en ácido láctico que es el monómero básico, que mediante un proceso químico se polimeriza transformándolo en largas cadenas moleculares denominadas ácido poli láctico. Puede ser extrusado, inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor para producir blister, bandejas y películas. Tiene también usos médicos en suturas, implantes y sistemas de liberación de drogas.

Existen también bioplásticos producidos directamente por las bacterias que desarrollan gránulos de un plástico llamado Polyhydroxyalkanoate (PHA) dentro de la célula misma. La bacteria se desarrolla y reproduce en un cultivo y el material plástico luego se separa y purifica.

Existen polímeros biodegradables de origen petroquímico como la Policaprolactona (PCL) que es un poliéster alifático que es verdaderamente biodegradable sin el requerimiento previo de la fotodegradación. En ambiente de compost la policaprolactona es asimilada totalmente por los microorganismos y la velocidad de degradación depende de varios factores tales como espesor de la muestra, humedad, temperatura, oxígeno, etc. Se usa entre otras aplicaciones como reemplazo del yeso en aplicaciones ortopédicas. Existen también en el mercado mezclas de PCL con almidón tales como el Mater-biTM que se usa para producir películas, artículos inyectados, productos termoformados, etc.

Los Biopolímeros se fabrican en pequeña escala y no hay producción nacional son por lo tanto muy caros, no son de uso masivo y sus aplicaciones están limitadas a usos de muy alto valor como productos medicinales (suturas, material para taponajes quirúrgicos, etc) y aplicaciones con importante marketing ecológico.

Compostable

Materiales que desarrollan una descomposición biológica durante un proceso denominado compostaje para producir dióxido de carbono, agua,

compuestos inorgánicos y biomasa a una velocidad comparable con otros materiales compostables en condiciones de compostaje industrial o comercial y no dejar residuos tóxicos visibles o distinguibles. El compostaje se realiza normalmente como un proceso de reciclado de la fracción orgánica (restos de comida o alimentos) de los residuos sólidos domésticos. Más adelante se describe este proceso en detalle.

Oxo-degradable

También denominados oxo-biodegradable, son materiales que desarrollan la descomposición vía un proceso de etapas múltiples usando aditivos químicos para iniciar la degradación. La primera etapa de degradación puede ser iniciada por la luz ultravioleta (UV) de la radiación solar, calor y/o tensión mecánica que inician el proceso de degradación por oxidación. De ésta manera se reduce el peso molecular del polímero debido a la rotura de las cadenas moleculares quedando un remanente con suficientemente bajo peso molecular que sería susceptible de desarrollar un proceso de biodegradación con el tiempo.

Aunque esta tecnología y sus productos no son nuevos, desde su aparición en el mercado en los años 80 han surgido muchas dudas con respecto a si son verdaderamente biodegradables según las normas internacionales de biodegradación que se describen más adelante. Asimismo existen dudas de que los residuos que quedan luego de la degradación tengan efectos tóxicos para el medio ambiente provocado por residuos metálicos con potencial toxicidad. Otra desventaja adicional de los polímeros oxo-biodegradable es que si se reciclan mezclados con polímeros comunes éstos se tornan degradables con lo que se impide su reciclado a usos de larga duración como tubos, cables, postes, etc.

Foto-degradable

Materiales que se degradan por la acción de los rayos ultravioleta de la radiación solar de tal manera que pierden resistencia y se fragmentan en partículas diminutas. Todos los plásticos de uso comercial en envasado son fotodegradables por naturaleza misma del polímero, en mayor o menor grado. Este proceso se basa en que la energía de la luz ultravioleta procedente de la luz solar es mayor que la energía de unión de los enlaces moleculares C-C y C-H y por lo tanto rompen las cadenas moleculares reduciendo su peso molecular y

propiedades mecánicas. Como ejemplo práctico tenemos que una película de polietileno común con un espesor medio se degrada completamente (se desintegra) al estar sometida continuamente a la luz solar durante los meses máxima radiación, primavera, verano y otoño. Cabe señalar que desde la década del 70 existen patentes de aditivos que agregados al polietileno aceleran la fotodegradación considerablemente, reduciendo el período de degradación a solo semanas de exposición al sol.

Solubles en agua

Son materiales que se solubilizan en presencia de agua, usualmente dentro de un rango específico de temperatura y luego se biodegradan mediante la acción de los microorganismos. Pueden ser de origen natural como los polisacáridos por ejemplo el almidón y la celulosa o de origen sintético o petroquímico como el alcohol polivinílico o copolímeros de acrilamida con derivados del ácido acrílico. Los polímeros de origen sintético no se usan en la fabricación de envases porque no se pueden transformar por los métodos de extrusión, inyección, etc. Se utilizan como espesantes para alimentos, pinturas, tratamiento de agua, etc. Además pueden usarse como coating en la industria textil y del papel y como adhesivos.

Biodesintegrables

Son materiales compuestos que están constituidos por una mezcla de una parte orgánica biodegradable con poliolefinas por ejemplo mezclas de almidón con Polietileno, Polipropileno y sus copolímeros, etc. Los microorganismos metabolizan y biodegradan la fracción orgánica (almidón) mientras que la fracción polimérica queda sin atacar con lo cual la fracción de poliolefina no sufre cambios importantes. Estos materiales no son plásticos biodegradables propiamente dicho y a pesar que se conocen desde la década del 70 no son usados comercialmente. Se han producido bolsas de comercio con mezclas de Polietileno con almidón que no han tenido éxito comercial debido a que el agregado del almidón reduce significativamente todas las propiedades físico-mecánicas con lo cual se debe aumentar mucho el espesor de la bolsa con el consecuente aumento del costo. Existen empresas que venden concentrado (Masterbatch) de polímero con almidón que se agregan durante la extrusión de la película o inyección de artículos diversos para transformarlos en biodesintegrables. Una desventaja

adicional de esta técnica es la gran sensibilidad del almidón a la humedad (higroscópico) lo que hace que deban tomarse precauciones especiales durante la transformación para evitar defectos provocados por la humedad del polímero.

2.1.6 APLICACIONES DE RECICLADO DE PET

- **Envases**

Fabricados por inyección o soplado con biorientación, por extrusión o soplado.

Usos: gaseosas, dentífricos, lociones, polvos y talcos, aguas y jugos, champúes, vinos, aceites comestibles y medicinales, productos capilares, fármacos, industria de la alimentación y laboratorios de cosmética y farmacéuticos.

- **Láminas y películas**

Fabricadas por extrusión plana o coextrusión por burbuja. Películas biorientadas.

Usos: cajas, blisters, pouches para envasado de alimentos, medicamentos, cosméticos, cintas de audio y video, de rayos x, fotografía, embalajes especiales, aplicaciones eléctricas

- **Otros**

Piezas de inyección, fabricación de plásticos de ingeniería usados para casos de alta exigencia térmica, mecánica.

Usos: Fabricación de carcasas de motores, envases resistentes a congelamiento y ulterior autoclavado, monofilamentos resistentes a temperatura en medio ácido, tubos, perfiles, fibras textiles, paredes.

2.1.7 IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LOS DESECHOS PLÁSTICOS

Los plásticos son el sector de envase y embalaje de más rápido crecimiento.

Prácticamente cualquier producto puede ser envasado en plástico. Hay envases rígidos y flexibles, que pueden ser hechos de una sola capa o de varias capas, a partir de una sola resina polimérica o de múltiples resinas. También es posible producir laminados de diversas resinas con papel, cartón y/o aluminio.

Los reglamentos sanitarios prohíben el uso de plásticos reciclados en contacto directo con alimentos y bebidas, por lo que la resina reciclada sólo se usa como capa de en medio entre dos capas de resina virgen.

1.- Adquisición de las materias primas. Las resinas poliméricas que dan origen a los plásticos, provienen de productos derivados del petróleo o el gas natural, los cuales son también fuentes de energía. La extracción del petróleo y el gas es una industria muy contaminante de la naturaleza. El transporte de estas materias hacia las refinerías está plagado de accidentes que han contaminado selvas, playas, cursos de agua, la atmósfera, etc.

2.- Procesamiento de las materias primas. Los plásticos son fáciles de procesar y conducen a productos ligeros. Esas dos características resultan en bajos costos tanto de manufactura como de transporte, los cuales generalmente se compensan por el valor del contenido energético de los plásticos mismos (petróleo y gas natural). En la manufactura de los plásticos se utilizan estabilizadores, pigmentos y otros aditivos. En las plantas petroquímicas se lleva a cabo la conversión de los constituyentes del petróleo y/o gas natural en resinas poliméricas. Casi todas las resinas se componen sólo de carbono, hidrógeno y oxígeno, excepto las resinas cloradas, como el poli cloruro de vinilo o el poli cloruro de vinilideno. Estas resinas poliméricas se producen mediante procesos de alto riesgo para los trabajadores, pues se ha demostrado los monómeros son cancerígenos.

3.- Producción o conversión de los envases. Los recipientes de plástico, como por ejemplo las botellas y frascos de PET, tienen la ventaja de ser duraderos, ligeros y fáciles de reciclar.

Los envases de plástico protegen bien a los productos contra efectos del medio ambiente, sin alterar sus cualidades. Los envases de plástico, por su versatilidad, se producen mediante gran variedad de procesos, extrusión, moldeo por inyección, moldeo por soplado, etc. En general, estos procesos no son contaminantes del ambiente, ni afectan la salud de los trabajadores. Las cabezas y colas de las corridas de producción (residuos sólidos generados al principio y al final de un lote de manufactura) se reciclan internamente en la planta o se transfieren a otras empresas que lo usan como materia prima en procesos diferentes.

4.- Proceso de envasado o llenado. La velocidad de llenado y el consumo de energía varían grandemente dependiendo de la forma, tamaño y peso de los envases. Por ejemplo, las botellas para refresco de 375 ml pueden ser procesadas a velocidades de aproximadamente 1000 por minuto.

5.- Distribución y venta. La ligereza de los envases de plástico reduce la cantidad de energía usada para la transportación, así como la resultante contaminación del aire.

6.- Manejo del residuo:

a) Reducción de origen. La energía requerida para producir envases de plástico es menor que para la mayoría de los otros tipos de envase. La cantidad de plástico usada en la manufactura de productos como bolsas, puede reducirse usando otros tipos de plástico más resistentes. Los envases flexibles en forma de bolsas esterilizables usan 70% menos plástico que los contenedores usuales de plástico rígido. Independientemente de lo anterior, la industria de botellas de PET ha logrado, en los últimos 15 años, reducir el peso de las botellas de 1.5 l de capacidad, en 28%.

b) Reutilización. Actualmente las empresas refresqueras multinacionales están experimentando con botellas retornables de PET, con capacidad de 1.5 litros en diversos mercados mundiales. Este tipo de aplicación representa la primera vez que se reutilizan los envases de plástico. Obviamente que el retorno a la planta embotelladora, el lavado y la esterilización de las botellas, son procesos contaminantes del ambiente.

c) Reciclaje. Los plásticos son difíciles de reciclar, debido a los problemas que existen en separarlos por resinas. Una vez separados, algunos tipos de plástico están mejor adaptados al reciclaje que otros. En EUA y Canadá el reciclaje del PET y del polietileno de alta densidad alcanza cantidades significativas, superiores al 50%. Los plásticos reciclados no se utilizan en la producción de nuevos envases de alimentos o bebidas, debido a requisitos sanitarios de garantizar que ningún contaminante pueda migrar del envase al producto. Así, los plásticos reciclados se utilizan en gran cantidad de aplicaciones no alimentarias.

d) Incineración con recuperación de energía. La energía contenida en los plásticos puede ser recuperada a través de la incineración. Los plásticos, siendo materiales basados en materias primas combustibles fósiles, tienen el más elevado contenido de energía por unidad de masa que cualquier otro material de envase. Cuando se queman, generan muy pocas cenizas. Para minimizar la producción y emisión de dioxinas y furanos (de los

plásticos clorados), los plásticos deben ser incinerados a altas temperaturas. El PET tiene un valor calorífico semejante al del carbón y el polietileno de alta densidad semejante al del aceite combustible. Cuando se incinera basura con alto contenido de humedad y con residuos de jardinería, el añadir botellas de PET reduce la necesidad de combustibles extra para operar el incinerador.

e) Disposición en relleno sanitario. Los plásticos son materiales inertes que no se descomponen, ni producen gas metano en los tiraderos. Son ligeros y, si las botellas están prensadas, ocupan poco espacio en un relleno sanitario. Con el paso del tiempo, los aditivos y estabilizadores que contienen pueden pasar a formar parte de los lixiviados, creando un peligro potencial para los acuíferos subterráneos.

f) Degradabilidad. Normalmente, los plásticos son estables en el medio ambiente. Sin embargo, pueden volverse un poco más degradables incrementando su sensibilidad a diferentes elementos del medio, tales como temperatura, tierra, oxígeno, agua, microorganismos y luz ultravioleta. Existen muchas dudas respecto de la conveniencia de estos procesos de degradación, que por otra parte pueden conducir a elevar los costos del reciclaje. Actualmente están llevándose a cabo una gran cantidad de investigaciones para precisar las ventajas y desventajas de volver degradables a los plásticos.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 BOBINADORA.

La bobinadora permite enrollar un hilo en un carrete haciendo bobinas o paquetes de hilado de cualquier tipo.

Hoy en día prácticamente el proceso de embobinado es altamente automatizado, lo que da la capacidad de enrollar las fibras en ángulos de embobinado precisos y con altos índices de producción.

2.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA BOBINADORA.

En muchos sectores, por ejemplo, en la industria del papel, plástico, textil o chapa, es necesario desenrollar material continuo para su posterior procesamiento o volver a enrollarlo tras el procesamiento. Para evitar una rotura de material, el bobinado debe tener lugar sin sacudidas y la fuerza de tracción debe mantenerse siempre constante.

Una bobinadora consta de tres sistemas fundamentales:

- **Desenrollador:** En este sistema se pone el carrete cuyo cable o fibra será trasladado a otro carrete, el movimiento de este se debe al arrastre que produce el carrete del enrollador.
- **Enrollador:** En este sistema se coloca el carrete receptor de cable, es el sistema encargado de dar el movimiento para trasladar el cable desde el desenrollador.
- **Sistema de guiado de enrollamiento:** este sistema tiene la función de guiar el cable para ser enrollado ordenadamente en el carrete del enrollador para así aprovechar óptimamente el volumen disponible en el carrete.

Para cumplir con ciertos trabajos específicos la bobinadora debe contar con sistemas complementarios como:

- **Sistema de medición:** Para determinar la longitud de material que se ha enrollado. Este sistema es indispensable cuando hacen inventarios, control de carretes recibidos o cuando se despacha cierta longitud de material.
- **Sistema de Inspección:** Es el encargado de detectar fallas en el cable, como fallas de revestimiento, fallas físicas, etc. Dependiendo del tipo de inspección a realizarse se deberá acoplar a la bobinadora los equipos necesarios.

2.2.3 TIPOS DE BOBINADORAS.

Hay algunos tipos de bobinadoras (Tabla2.2), pero en general, las máquinas bobinadoras se dividen en dos categorías principales, que se denominan bobinadoras de precisión y bobinadoras de tambor.

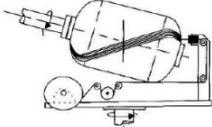
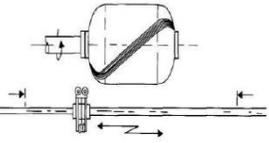
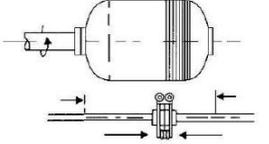
a) Bobinadoras de Precisión o Automáticas

Son aquellas en las que el proceso se desarrolla con muy poca o ninguna intervención de operarios, ya que la finalidad primordial de este tipo de máquinas es la fabricación de bobinas que satisfagan las especificaciones de calidad más exigentes; para lograr esto la máquina dispone de un carro anudador, el cual como su nombre lo indica une automáticamente los hilos rotos sin que el operario tenga la necesidad de hacerlo. Otra de las características de esta máquina es que una vez terminada la bobina, esta se extrae y reemplaza automáticamente por una nueva, mediante un dispositivo de transporte llamado “carro extractor” y almacenada en cajones para su posterior uso. Esta bobinadora también dispone de un sistema de control, que registra, dirige, e informa sobre los datos de producción como: cuantas veces se ha roto el hilo, o cuando ha presentado un cambio en el espesor que no se halla acorde con el control de calidad del bobinado.

b) Bobinadoras de Tambor o Manuales

Se llama a este tipo de máquina como bobinadora de tambor, debido a que el cono o la bobina que se pliega es impulsada por un pequeño cilindro, que es el llamado tambor, por contacto directo. En este tipo de máquina la velocidad del hilo permanece casi constante. Este tipo de bobinadoras deben ser manejadas necesariamente por un operario que se encarga de efectuar trabajos tales como el anudar los hilos cuando estos se rompen, sacar la bobina terminada y colocar una nueva en remplazo; es decir es una máquina de menor producción, al estar supeditada a la vigilancia del operario. Además no posee ningún control para el conteo del número de nudos realizados, ni para el paso de un hilo más delgado de lo necesario; no así al aumentar el espesor, ya que fácilmente puede controlarse este mediante un sencillo sistema de galga pasa – no pasa.

Tabla 2.2 Tipos de máquinas bobinadoras⁶

<i>Tipos de Máquinas</i>	<i>Gráfico</i>	<i>Características</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<p>Máquina de Bobinado Satélite o Polar</p>	 <p>Máquina de Bobinado Satélite o Polar Fuente: MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos: enrollamiento filamentario. Zaragoza: Antonio Miravete, 2000. 745p.</p>	<p>Sus dos principales movimientos son de rotación: Movimiento de rotación del mandril alrededor de su eje de rotación. Movimiento de rotación del sistema distribuidor de hilos o del conjunto del sistema que lleva el mandril alrededor de otro eje generalmente concurrente</p>	<p>Ofrece la ventaja de producir un movimiento continuo y muy regular minimizando efectos inerciales que se ocasionen debido a cambios de velocidad o cambios bruscos de dirección</p>	<p>La principal desventaja es que se necesita montar el mandril en puerta falsa por una de sus extremidades</p>
<p>Máquinas de Bobinado Helicoidal</p>	 <p>Máquina de bobinado helicoidal Fuente: MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos: enrollamiento filamentario. Zaragoza: Antonio Miravete, 2000. 744p.</p>	<p>Sus principales movimientos son: Movimiento de rotación del mandril alrededor de su eje de revolución; Movimiento de traslación del sistema de distribución de fibra o hilos a lo largo de la longitud del mandril</p>	<p>Mientras que el mandril gira continuamente, el sistema de alimentación de la fibra avanza adelante y atrás con una velocidad controlada para generar el ángulo helicoidal deseado.</p>	<p>Tras la primera pasada las bandas no están posicionadas de forma adyacente por lo que es necesario realizar un número de pasadas determinado hasta que las fibras comienzan a quedar una junto a otra</p>
<p>Máquinas de Bobinado Circunferencial</p>	 <p>Máquina de bobinado circunferencial Fuente: MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos: enrollamiento filamentario. Zaragoza: Antonio Miravete, 2000. 746p.</p>	<p>Es un tipo de bobinado helicoidal de gran ángulo mayor o igual a 90°</p>	<p>Cada rotación completa del molde hace que el sistema de alimentación de fibra avance una anchura de banda completa.</p>	<p>Los enrollados circunferenciales son aplicados a la zona cilíndrica de un recipiente cerrado, mientras que en otros tipos son aplicados tanto en las zonas cilíndricas como a los fondos o tapas del recipiente.</p>

⁶ Antonio Miravete, Materiales compuestos pág. 744, 745, 746

2.2.4 REQUERIMIENTOS PARA EL 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).

a) 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/mm^2 y una densidad de 0.94 g/cm^3 . 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.

b) 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/mm^2 . 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.

2.2.5 REQUISITOS ÓPTIMOS PARA EL PROCESO DE RECICLADO DE PET.

2.2.5.1 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.

2.2.5.2 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 moldeo 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.

2.2.5.3 SOLUCIONES DE CONTAMINACIÓN.

Acopio de material: El acopio es simplemente la recolección del material ya sea en puntos fijos o en recorridos, es importante además puntualizar que un buen sistema de acopio garantizará un buen suministro de materia prima para el resto de los procesos, no debiendo existir cortes de materia prima.

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, como se ilustra en la figura 2.6. No obstante, el PET debido a su elevada recuperación elástico-plástica, es difícil de prensar.



Figura 2.6 Pacado

Cuando se realiza este proceso, las “pacas” deben ser posteriormente abiertas y picadas tal como llegan a la planta, es decir con tapas y etiquetas, que es una alternativa en el proceso. Sin embargo, cuando a la planta llegan botellas sueltas, si bien el volumen ocupado es mucho mayor, la posibilidad de realizar el desetiquetado y destapado permiten obtener un producto más fácil de tratar constituyéndose en la segunda alternativa del proceso.

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, el cual puede ser la separación de los diferentes tipos de polímeros del material (si es que éste ha sido compactado) y la limpieza del material picado. 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.



Figura 2.7 Esquema y forma de un molino convencional para PET⁷

Hoy en día existe tecnología para procesar y reducir material PET hasta polvo fino usando cámaras criogénicas a partir de nitrógeno líquido, donde el nitrógeno líquido fragiliza considerablemente el material lográndose obtener material fino. Este tipo de tecnología como es de suponerse es bastante costosa, su mayor empleo es para el control de calidad en productos específicos como por ejemplo el control de niveles de acetaldehído en preformas para el soplado de botellas.

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

⁷ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm



Figura 2.8 Cinta de transportación para clasificación y separación⁸

Otra alternativa es la de tener sistemas de flotación (figura 2.9) 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 2.9 Tambores con paletas para flotación de poliolefinas.⁹

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

⁸ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

⁹ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

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. El uso de sosa 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.

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



Figura 2.10 Secador centrifugador¹⁰

¹⁰ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

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 centrifugas 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 2.11 Línea de lavado secado centrifugado¹¹

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.

Peletizado: El granulado 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.

¹¹ http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm



Figura 2.12 Extrusores para PET¹²

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".

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

¹² http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

2.3 MARCO CONTEXTUAL

2.3.1 EXTRUSIÓN DEL PET.

EXTRUSION

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.

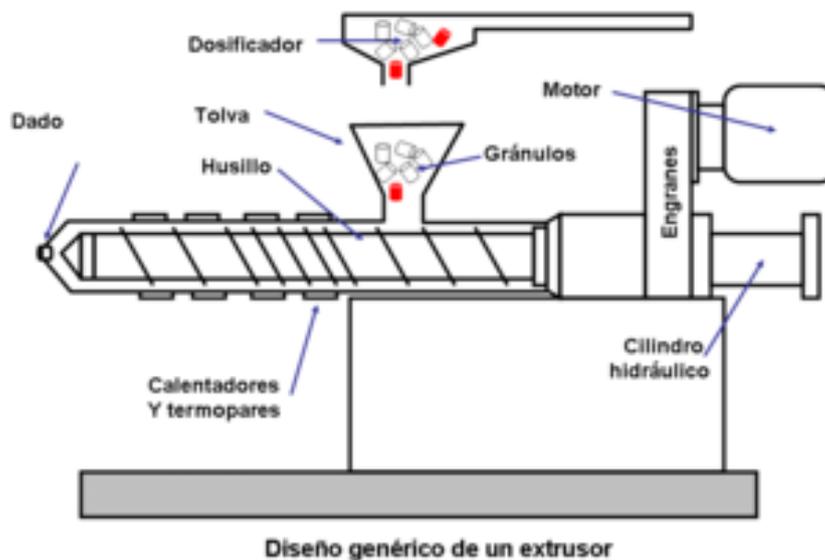


Figura 2.13 Diseño genérico de un extrusor¹³

Extrusores de tornillo

En su forma básica (Figura 2.13), 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 la tolva de alimentación y los mueve a la sección de compresión (sección de

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Disenio_de_un_extrusor.png

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 caños se calienta externamente para compensar las pérdidas de calor, o pueden enfriarse el cañón (o el tornillo) para evitar el sobrecalentamiento. Al final de esta sección se suministra un fluido viscoso a la sección de medición. Esta, igual que la sección de alimentación, tiene una zona transversal libre constante, pero menor. Aquí la fusión se calienta aún más por cortante a una alta rapidez.

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 varía 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 aún más crítico 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 extruir 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 cual provoca geles y fractura del plastificado; o el material se degrada, lo que provoca amarillamiento, puntos negros, pinholes 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, entonces 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

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La bobinadora de hilos debe ser capaz de enrollar hilos de RPET de diámetros variables hasta de 0,5 mm.

Antes de entrar al análisis y selección de alternativas para el diseño de la bobinadora, primero veremos los parámetros y criterios de diseño así como también variables del proceso que debemos tener en cuenta para elegir la mejor alternativa.

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Motor Eléctrico:

- Potencia de salida ½ Hp
- Frecuencia 60Hz.
- Peso 4.7 Kg.

Variador de Frecuencia:

- Frecuencia regulable de 0 a 60 Hz.
- Peso 0.8 Kg.

Estructura Soporte:

- Peso de los elementos soportados.
- Rango de alturas requerida.
- Grados de libertad.

3.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

- Ductilidad del producto final del reciclado.
- Mantenibilidad.
- Seguridad.
- Costo de fabricación.
- Costo de instalación.

- Costo de mantenimiento.
- Durabilidad.
- Eficacia.
- Manufactura.

3.3 VARIABLES DEL PROCESO.

EXTRUSORA

- Temperatura del tornillo: se controla con termómetro digital la temperatura de termocuplas del tornillo de la extrusora.
- Temperatura de la boquilla: se controla con termómetro digital la temperatura de termocupla de la boquilla de la extrusora.
- Frecuencia del motor: se controla mediante un variador de frecuencia para regular la velocidad del motor de la extrusora.

BOBINADORA

- Frecuencia de bobinado: se controla la velocidad del motor de la bobinadora mediante un variador de frecuencia.

3.4 RESTRICCIONES DE DISEÑO

La fuerza de tracción ejercida por la bobinadora no debe ser mayor que el límite de resistencia del PET en su condición menos resistente (0.06 MPa), esto es cuando al PET extruido no se le aplican procesos de secado ni desgasificado.

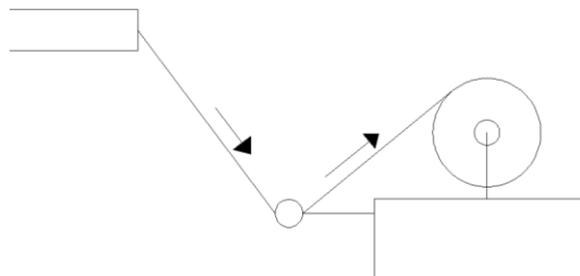


Figura 3.1 Tensión en los hilos de PET.

La mesa (ver figura 3.2) que sostiene al conjunto para el bobinado debe ser de altura regulable de manera que se pueda ajustar a la boquilla de salida de la extrusora de la mejor manera.

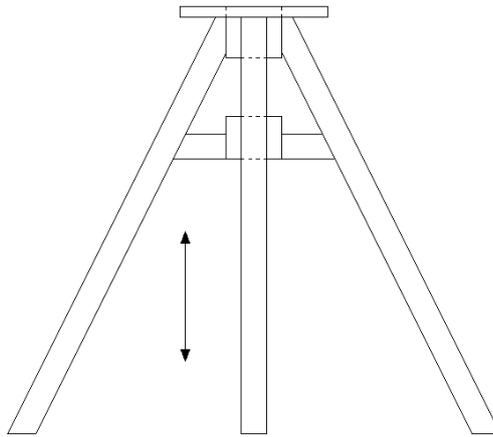


Figura 3.2 Mesa con movimiento vertical.

3.5 MATRIZ DE SELECCIÓN.

3.5.1 ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN.

Alternativa 1.

Se trata del bobinado circunferencial o de lazo, este permite un ángulo de bobinado bastante considerable; cubrimiento completo del mandril en cada pasada del carro; el cambio en la dirección del carro puede ser efectuada en cualquier momento sin afectar el patrón.

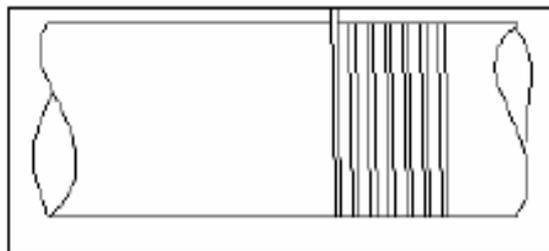


Figura 3.3 Bobinado circunferencial o de lazo.

Alternativa 2.

Consiste en un bobinado helicoidal con cinta angosta y gran o mediano ángulo, para el cual se necesitan múltiples pasadas del carro para cubrir el mandril; el cambio en el sentido del mandril puede ser programado con exactitud con base en la rotación del mandril; se necesita la presencia de una pausa en

cada extremo de la carrera del sistema de alimentación, para obtener un mejor posicionamiento de las fibras y prevenir el deslizamiento de las mismas.

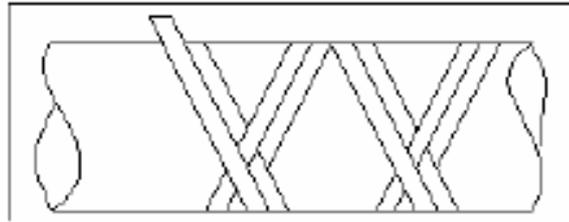


Figura 3.4 Bobinado helicoidal con cinta angosta y gran o mediano ángulo.

Alternativa 3.

Se trata del bobinado helicoidal con un ángulo de bobinado pequeño, consiste en fibras colocadas alrededor de los extremos del mandril cerca del eje de soporte; posee las mismas características del enrollado helicoidal con cinta angosta; el mandril gira muy lentamente, por lo que si éste es demasiado largo, la carrera del carro requerirá de mucho tiempo. Por lo que es deseable aumentar la velocidad cada vez que el carro termina su carrera, así se puede agilizar un poco más el proceso.



Figura 3.5 Bobinado helicoidal con un ángulo de bobinado pequeño.

En la siguiente tabla se presenta la matriz de análisis de valor en la que se han definido algunos parámetros y criterios de evaluación de la máquina como su función e importancia.

Tabla 3.1 Matriz de análisis de valor

Ord.	Criterios y Parámetros de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	P	W.F.
1	Variación de velocidad	--	1	1/2	1/2	1	1	1	1	7.0	0.21
2	Capacidad		--	1/2	1/2	1	1	1	1	6.0	0.18
3	Eficacia			--	1	1	1	1/2	1	5.5	0.17
4	Movimiento vertical				--	1/2	1	1	1	4.5	0.14
5	Repuestos					--	1/2	1	1	3.5	0.10
6	Mantenibilidad						--	1	1	3	0.09
7	Maniobrabilidad							--	1	2	0.07
8	Costo de construcción								--	1	0.04
Σ =32.5										1.00	

A continuación, se analizarán las diferentes alternativas mediante una *matriz de decisión* (tabla 3.2), la cual nos mostrara la mejor alternativa de construcción para el proyecto.

La matriz de decisión permite apreciar de manera cuantitativa que la alternativa 2 resulta ser la mejor opción a construir para el presente proyecto.

Tabla 3.2: Matriz de decisión

Parámetros de evaluación	W.F	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3				
		Descripción	R.F.	Cal.	Descripción	R.F.	Cal.	Descripción	R.F.	Cal.		
Variación de velocidad	0.21	Control de tensión	10	2.10	Control de tensión	10	2.10	Control de tensión	10	2.10		
Capacidad	0.18	Cantidad de material que soporta	9	1.62	Cantidad de material que soporta	9	1.62	Cantidad de material que soporta	7	1.26		
Eficacia	0.17	Resultados óptimos	7	1.19	Resultados óptimos	10	1.70	Resultados óptimos	8	1.36		
Movimiento vertical	0.14	Permite ajustar a la altura requerida.	10	1.40	Permite ajustar a la altura requerida.	10	1.40	Permite ajustar a la altura requerida.	10	1.40		
Repuestos	0.10	Existen repuestos en stock al alcance.	10	1.00	Existen pero su costo es un poco elevado	8	0.80	Existen pero su costo es un poco elevado	5	0.50		
Mantenibilidad	0.09	Fácil montaje y desmontaje	10	0.90	Fácil montaje y desmontaje	10	0.90	Fácil montaje y desmontaje	10	0.90		
Maniobrabilidad	0.07	Muestra mayor amigabilidad con el operador.	9	0.63	Mayor complejidad de construcción	10	0.70	Mayor complejidad de construcción	8	0.56		
Costo de construcción	0.04	Costos accesibles.	10	0.40	Costos un poco elevados	9	0.36	Costos un poco elevados	7	0.28		
Σ	1.00	X1			9.24	X2			9.58	X3		8.36

CAPITULO 4

DISEÑO DE LA BOBINADORA.

INTRODUCCIÓN

El diseño por resistencia, consiste en el dimensionamiento de los elementos basándose en la teoría de esfuerzos permisibles, donde es responsabilidad del diseñador asegurar que una pieza de máquina es segura para operar bajo condiciones susceptibles de ser previstas en forma razonable, este método afirma que las cargas que actúan en cada uno de los elementos deben producir esfuerzos de trabajo menores a los permisibles.

Cuando actúan esfuerzos compuestos se utiliza la teoría de la energía de la distorsión (Teoría de Von Mises¹⁴), para encontrar el esfuerzo equivalente, esta teoría ofrece una proyección muy precisa de fallas en materiales dúctiles que se someten a la acción de cargas estática, tensiones combinadas, tensiones por esfuerzo de corte, o bien, tensiones normales inversas. El término tensión de von Mises se indica mediante el símbolo σ' . Si las dos tensiones principales del círculo de Mohr se denominan σ_1 y σ_2 , la tensión de von Mises es:

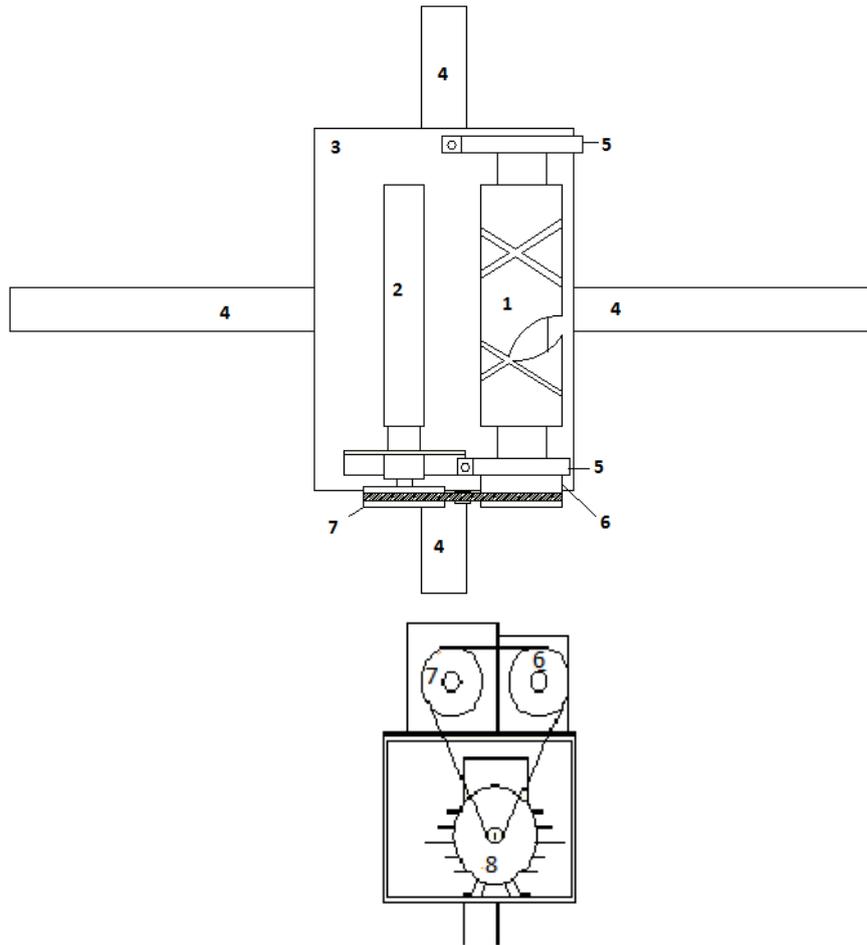
$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$$

Así la teoría de distorsión de fallas indica que la falla se origina cuando la tensión de von Mises excede la resistencia a punto cedente del material, esto es, cuando, $\sigma' > s_y$.

En caso de elementos que trabajen a fatiga como es el eje del tambor guía - hilo, se diseña para vida infinita por estar sujeto a cargas cíclicas y se utiliza la teoría de Goodman modificada para predecir la resistencia de estos elementos. En la figura 4.1 se presenta un esquema de la máquina donde se observa el tren de potencia, el sistema de rotación del husillo principal consta del motor, acoples, ejes, rodamientos y los elementos de sujeción del tambor guía – hilo.

¹⁴ Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott – 2 edición – pág. 153

Para este sistema el elemento de transmisión de potencia consiste en una banda entre el motor y el eje principal.



- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1.- Tambor guía hilo | 5.- Soportes de chumaceras |
| 2.- Eje bobina | 6.- Polea tambor guía hilo |
| 3.- Caja soporte del mecanismo | 7.- Polea eje bobina |
| 4.- Soporte del conjunto | 8.- Motor eléctrico |

Figura 4.1 Esquema máquina bobinadora

La estructura soporte de la máquina, se diseña por análisis estático utilizando el paquete de programa de cálculo estructural SAP2000 para determinar los esfuerzos, momentos y fuerza cortante, que actúan en la estructura.

Diseño a fatiga: - Eje del tambor guía hilo

De acuerdo a los requerimientos se selecciona mediante catálogos y disponibilidad en el mercado:

- | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------|
| - bandas | - poleas | - rodamientos |
| - motor eléctrico | - variador de frecuencia. | |

4.1 DISEÑO MECÁNICO

4.1.1 FACTOR DE SEGURIDAD (n)

También conocido como factor de diseño¹⁵, es una medida de la seguridad relativa de un componente que soporta carga y se utiliza de acuerdo a la importancia del elemento a diseñar.

Hay factores de diseño específicos ya establecidos con los que se puede trabajar de acuerdo a la aplicación que se ajuste al requerimiento del diseñador:

Tabla 4.1 Factores de seguridad

Características	Factor de Seguridad
1.- <i>Casos normales para estructuras o elementos de Máquinas.</i> Material dúctil bajo condiciones de incertidumbre moderada en relación a propiedades del material, naturaleza de la carga, o grado en que es adecuado el análisis de tensión.	3
2.- <i>Estructuras Estáticas.</i> Materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, magnitud de las cargas y grado en que resulta adecuado el análisis de tensión.	2
3.- <i>Estructuras Estáticas.</i> Materiales quebradizos con alto grado de confianza en el conocimiento de las condiciones de operación.	3
4.- <i>Elementos de Máquinas.</i> Materiales quebradizos con incertidumbre moderada acerca de las propiedades, cargas o análisis de tensión del material.	4 o mayor
5.- <i>Elementos de Máquinas.</i> Materiales dúctiles con incertidumbre en relación a alguna combinación de propiedades, cargas, o análisis de tensión del material, en particular bajo condiciones de choque o carga de impacto.	4 o mayor

Fuente: Elementos de Máquinas Robert Mott

Para este caso se utiliza el factor de seguridad bajo condiciones normales (1) para estructuras o elementos de máquinas. Entonces $n = 3$

¹⁵ Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott – 2 edición – pág. 154

4.1.2. DISEÑO DE LA BOBINADORA

4.1.2.1 DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ Y DE TRANSMISIÓN

La función básica de este sistema es la de transmitir el movimiento entregado por un motor eléctrico, hasta el tambor guía hilo, el mismo que estará conectado al eje de la bobina el cual gira a la misma velocidad que el tambor guía hilo.

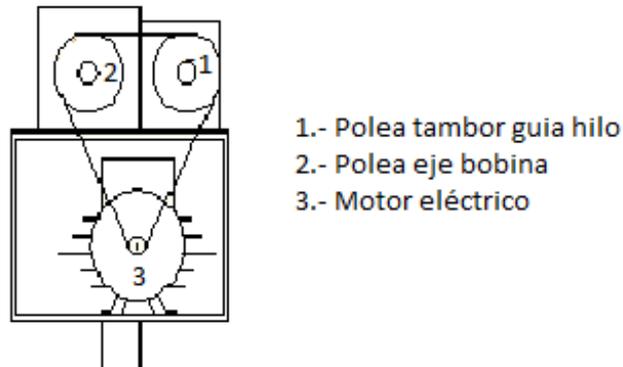


Figura 4.2 Esquema máquina bobinadora con su sistema motriz

La transmisión del movimiento se realiza con el uso de bandas y poleas, y para la facilidad de cálculos se empieza diseñando y seleccionando estos.

a) SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO Y VARIADOR DE FRECUENCIA

- Potencia consumida (estimada):

Nota: Se estima una velocidad de motor referencial máxima de 795 rpm, ya que será controlada mediante un variador de frecuencia, se tiene el torque de un cuerpo rígido que gira con velocidad angular ω alrededor de su eje

$$T = \frac{1}{2} I \omega^2$$

La inercia total obtenida es de $I_{Total} = 0,017 kg * m^2$

Con estos valores calculamos la potencia consumida estimada.

$$P = T * \omega$$

Dónde:

P: potencia consumida

T: torque requerido = 3.055 Nm

ω : Velocidad angular estimada de funcionamiento= 62.8 rad/s

$$P = 3.055 * 62.8$$

$$P = 191.85 \text{ watts} \rightarrow P = 0.257 \text{ hp}$$

Para la selección del motor eléctrico que se utiliza para el funcionamiento de la máquina se lo hace de acuerdo a los tipos de motores que hay en el mercado y que sirva con el variador de frecuencia que regula la misma del motor para equilibrarla a la misma frecuencia de la extrusora.

Tabla 4.2 Especificaciones del motor eléctrico

Marca	Siemens
Modelo	1LA7
Voltaje	220YY/440Y
Amperaje	1.9/0.95 A
Potencia	0.5 hp
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1590 rpm
Peso	4.7 kg

Fuente: Catálogo Motor Siemens 1LA7

Tabla 4.3 Especificaciones del variador de frecuencia

Marca	Siemens
Modelo	Sinamics G110
Motor	0.37 kW
Voltaje	200 – 240 V ($\pm 10\%$)
peso	0.8 kg

Fuente: Catálogo Siemens Sinamics G110

b) SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS

Para la selección de bandas utilizaremos la metodología indicada en el catálogo de bandas TRELLEBORG, que será tomado como referencia.

Se tiene un motor de 0.5 hp. que gira a 1590 rpm. el cual va a guiar al sistema guía hilo a una velocidad aproximada de 795 rpm. (Se hace una reducción de la velocidad al 50%, debido a que será referencial; ya que la velocidad de la bobinadora se controlará con un variador de frecuencia.)

Como se conoce las rpm y el diámetro primitivo de la polea conductora, además las rpm de la polea que será conducida se utiliza la fórmula que relaciona diámetros y revoluciones.

$$d_p * n = D_p * N \quad (4.1)$$

Entonces:

$$2 * 1590 = D_p * 795$$

$$D_p = 4 \text{ in}$$

Entonces seleccionaremos un diámetro estándar del mercado $D = 4 \text{ in}$.

Nota: el eje tambor guía hilo y el eje bobina deben girar a la misma velocidad, por lo que cada uno tiene una polea de 4 in.

b.1) CÁLCULO DE LA POTENCIA DE DISEÑO

La potencia de diseño se obtiene multiplicando el factor de servicio por la potencia nominal del motor. Es decir:

$$P_d = P_n * K_d \quad (4.2)$$

FACTOR DE SERVICIO¹⁶

El factor de servicio es un valor que depende de las horas por día de trabajo, del tipo de motor que transmitirá la potencia, del tipo de industria o utilización para la cual se seleccionará la banda y de la potencia que se quiere transmitir.

Para este caso la máquina operará menos de 10 horas diarias, con motor eléctrico que funciona con CA., y tiene una $P_n = 0.5 \text{ hp}$, tipo de trabajo ligero, entonces de acuerdo a la tabla #1 del catálogo de bandas TRELLEBORG tenemos: $K_d = 1$

Por lo tanto la potencia de diseño es:

$$P_d = 5 * 1$$

$$P_d = 0.5 \text{ hp}$$

b.2) DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BANDA

La sección transversal de la banda depende de la velocidad del eje más rápido y de la potencia de diseño, o como en este caso, se conoce la longitud

¹⁶ Catálogo Trelleborg pág. 10 – Anexo 3.

de banda necesaria de 914.4 mm por lo que se busca su sección de acuerdo a tabla del catálogo Trelleborg (longitudes estándar para bandas HP-E V)¹⁷

Entonces se escoge banda tipo Z#35 con longitud estándar que se encuentra en el mercado de 920 mm.

Banda que en el mercado ecuatoriano es mucho más fácil encontrar su equivalente de uso automotriz de diferentes marcas como Dayco, Dongil, Good Year, etc. La cual tiene un código generalizado automotriz que es 17360.

b.3) CÁLCULO DE LA POTENCIA BÁSICA POR BANDA¹⁸

La potencia básica transmitida por banda está dada por la suma de la potencia nominal por banda más la potencia adicional por la relación de velocidad. Es decir:

$$P_{bb} = P_{nb} + P_{ab} \quad (4.3)$$

En este caso para una velocidad del eje más rápido de 1590 rpm., una relación de velocidad $i = 2$ y un diámetro de polea pequeña $d = 50.8$ mm, se tiene:

Potencia nominal de banda:

$$P_{nb} = 0.74 \text{ kw}$$

Potencia adicional de banda:

$$P_{ab} = 0.08 \text{ kw}$$

Por lo tanto:

$$P_{bb} = 0.82 \text{ kw}$$

b.4) CÁLCULO DE POTENCIA CORREGIDA POR BANDA¹⁹

La potencia corregida por banda se obtiene multiplicando la potencia básica por banda por el factor de corrección arco – longitud y por el factor de corrección por longitud. Es decir.

$$P_{cb} = P_{bb} * K_t \quad (4.4)$$

$$P_{cb} = 0.82 * 1.02 \rightarrow P_{cb} = 0.84 \text{ kw}$$

¹⁷ Catálogo Trelleborg pág. 6 – Anexo 3.

¹⁸ Catálogo Trelleborg pág. 14 – Anexo 3.

¹⁹ Catálogo Trelleborg pág. 15 – Anexo 3.

b.5) CALCULO DE NÚMERO DE BANDAS REQUERIDAS

El número de bandas requeridas se obtiene dividiendo la potencia de diseño a transmitir por la potencia corregida por banda, es decir:

$$\#bandas = \frac{P_d}{P_{cb}} \quad (4.5)$$

$$\#bandas = \frac{0.24}{0.84}$$

$$\#bandas = 0.29 \text{ bandas}$$

Es decir para transmitir la potencia del motor al eje Tambor guía hilo se requiere de una sola banda.

B.6) CALCULO DE TOLERANCIAS DE INSTALACIÓN

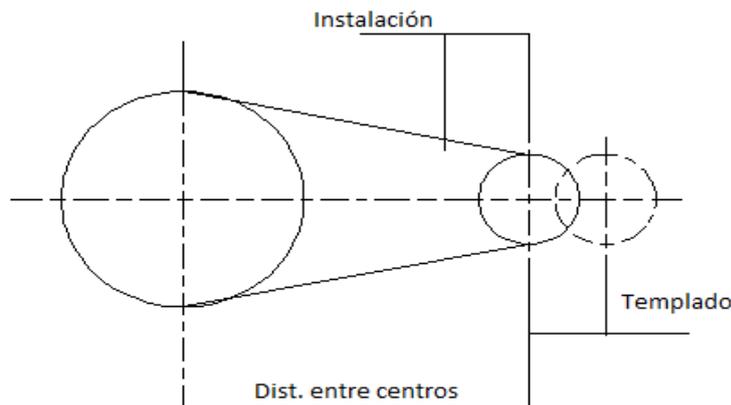


Figura 4.3 Tolerancias de instalación y templado de la banda

La banda requiere una tolerancia para la instalación y una para templado (Figura 4.3), esto se lo obtiene a partir de la sección transversal de la banda y de la longitud exterior de la misma, para este caso se tiene:

Tolerancia de instalación = 0.5 in

Tolerancia de templado = 1 in

b.7) SELECCIÓN DE POLEAS

Para este caso el mercado si dispone de poleas estándar de 4 in. de diámetro, en el caso de que no se encontrara la polea en el mercado, estas son posibles de fabricarla con las especificaciones y el material que el diseñador o constructor crea conveniente.

Como se indicó en la selección de bandas y poleas, las poleas tendrán un diámetro de 2 in. para el eje del motor que es la impulsora; y de 4 in. para el eje tambor guía-hilo y el eje bobina. Que son los ejes impulsados.

En caso de dificultarse la adquisición de las poleas antes seleccionadas, se las deberá construir tomando en cuenta las tolerancias presentadas en la tabla 4.4 de acuerdo a la figura 4.4

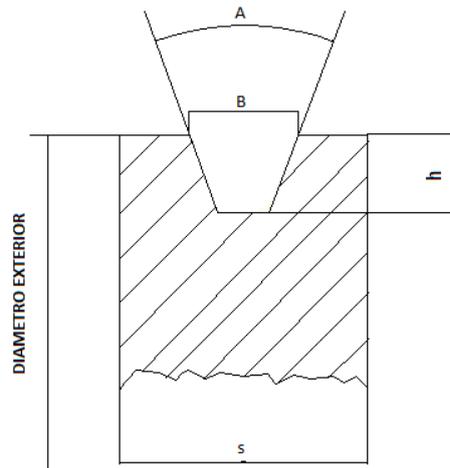


Figura 4.4 Forma y dimensiones recomendadas para las poleas

Tabla 4.4 Tolerancias recomendadas para fabricación de las poleas²⁰

Diámetro exterior	Ángulo A	B	h	S
2.35in = 59.69mm	36±0.25°	8.9±0.1mm	10±0.1mm	17.5±0.8mm
4.12in = 104.65mm	38±0.25°	8.9±0.1mm	10±0.1mm	17.5±0.8mm

4.1.2.2 DISEÑO DEL EJE DEL TAMBOR GUÍA HILO

El diseño del eje tambor guía hilo depende de la forma y dimensiones de dicho tambor. Su forma preliminar será:

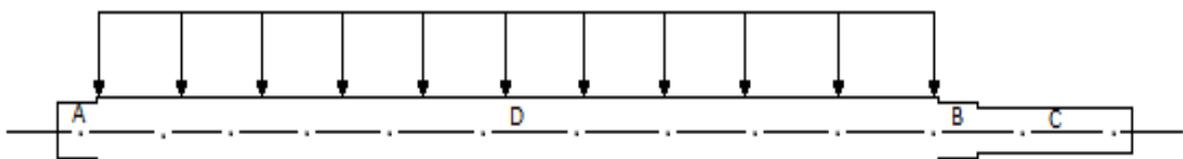


Figura 4.5 Esquema del eje del tambor guía hilo

²⁰ DAYCO. Catálogo de bandas pag. 161, Tabla 8

Donde en los puntos indicados se encuentran:

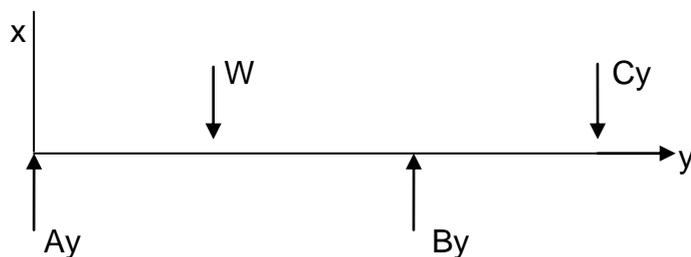
A rodamiento

B rodamiento

C Polea

Como se muestra en la figura para calcular las reacciones en los soportes de los rodamientos A y B primero se necesita encontrar el valor correspondiente a W producida por el peso del eje tambor en sí, y luego hallar el valor de la fuerza en el apoyo C provocada por la banda y polea.

Diagrama del cuerpo libre del eje tambor guía hilo



a) CALCULO DEL PESO DEL EJE

El eje tambor guía hilo será maquinado en acero de transmisión SAE 1018, para lo cual se utilizará su densidad 7.85 g/cm^3 .

Para el cálculo de la masa se utiliza la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.6)$$

Calculo del volumen [se dividió al eje en secciones cilíndricas y se utilizó la fórmula de volumen de un cilindro: $v = (\pi/4) d^2 h$]

Volumen total es el resultado de la suma de los volúmenes de cada sección, para nuestro caso el $v = 429,549 \text{ cm}^3$.

Entonces:

$$m = \rho * v$$

$$m = 7.85 * 429,549$$

$$m = 3371,96 \text{ g} \quad \Rightarrow \quad m = 3.4 \text{ kg}$$

Por lo tanto el peso W es:

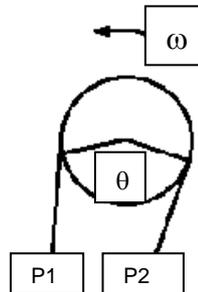
$$W = m * g \quad (4.7)$$

$$W = 3.4 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 33.354 \text{ N}$$

b) CALCULO DE LA FUERZA C PROVOCADA POR LA BANDA Y POLEA²¹

Cuando una correa funciona transmitiendo potencia hay una tracción P1 en la parte atirantada y una tracción menor P2 en la parte floja.



En este caso se tiene que la potencia transmitida se obtiene de la ecuación:

$$P = \frac{100 * K_d * P_n}{V * K_2} \quad (4.8)$$

$$\frac{P1}{P2} = 5$$

Dónde:

P = potencia transmitida

P_n = potencia del motor

K_d = factor de servicio

V = velocidad de banda

P1 = fuerza en el lado tensionado de la banda

P2 = fuerza en el lado no tensionado de la banda

Y de la teoría de rozamiento se obtiene la relación:

$$\frac{P1 - Fc}{P2 - Fc} = e^{\theta f} \quad (4.9)$$

$$Fc = \frac{\omega v^2}{g} \quad (4.10)$$

Dónde:

ω' = peso por unidad de longitud de la banda (0.0068 lbf/in. tomando como densidad de una banda típica aproximadamente 0.005 lb/in³).

(Deutshman A. pág. 692)

²¹ Shigley Joseph sexta edición pág. 756

g = gravedad

Fc = fuerza centrífuga sobre la banda

f = coeficiente de fricción entre caucho y acero = 0.3 (Deutshman A. pág. 694)

θ = ángulo de contacto de la banda con la polea. Para la polea pequeña se tiene:

$$\theta = 180 - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2C} \right) \quad (\text{Robert Mott pág. 535}) \quad (4.11)$$

D = diámetro polea grande

d = diámetro polea pequeña

C = distancia entre centros de las poleas

Entonces:

$$\theta = 180 - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{4 - 2}{2 * 3} \right)$$

$$\theta = 141.05^\circ$$

Ahora calculamos las fuerzas P1 y P2 resolviendo el sistema de ecuaciones con las formulas antes mencionadas.

$$F_c = \frac{\omega V^2}{g}$$

$$F_c = 0.068 \text{ N}$$

Entonces $P_1 = 5 * P_2$, reemplazando y resolviendo el sistema de ecuaciones tenemos:

$$P_1 - F_c = (P_2 - F_c) * (2,8 * 10^{14})$$

$$P_1 = 2,8 * 10^{14} P_2 - 1,9 * 10^{13}$$

$$P_1 - P_2 = 10,3$$

$$\Rightarrow 5 P_2 - P_2 = 10,3$$

$$\Rightarrow P_2 = 2,6 \text{ N}$$

$$\Rightarrow P_1 = 12,8 \text{ N}$$

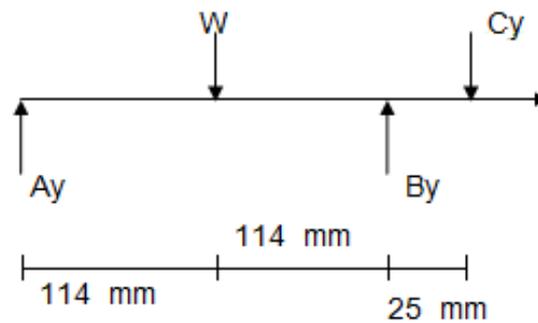
Entonces $W_p = m * g$

$$W_p = 0.45 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \Rightarrow W_p = 4.5 \text{ N}$$

$$\Rightarrow C_y = W_p + P_1 + P_2$$

$$\Rightarrow C_y = 19,9 \text{ N}$$

c) Calculo de las reacciones en los rodamientos



Con los valores obtenidos de las reacciones creadas sobre el eje tambor guía hilo tanto por la polea como por el peso de W , se encuentran las reacciones creadas por los rodamientos aplicando el equilibrio y sumatorio de fuerzas.

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum \bar{M}_A = 0$$

$$A_y - W + B_y - C_y = 0$$

$$-0.144 W + 0.228 B_y - 0.253 C_y = 0$$

$$A_y + B_y = 53.254$$

$$B_y = 43.1 \text{ N}$$

⇒

$$A_y = 10,15 \text{ N}$$

d) Determinación de las cargas sobre el eje del tambor guía hilo

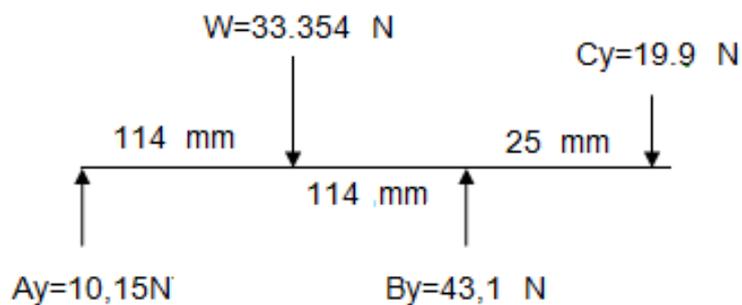


Diagrama de fuerza cortante V

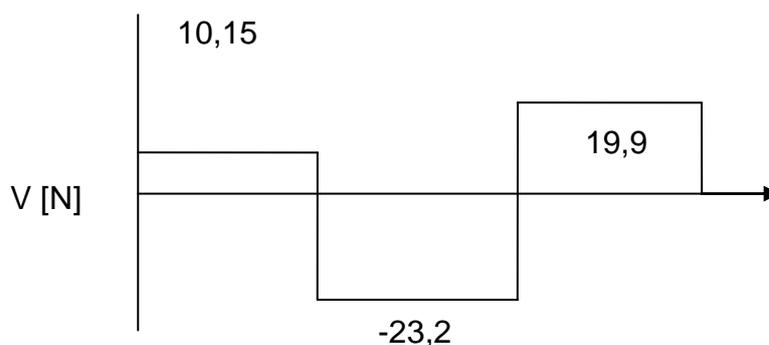
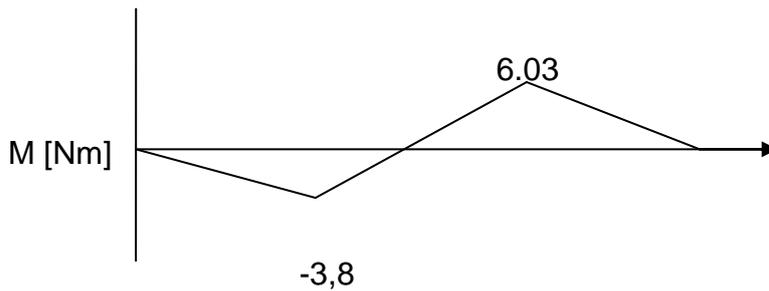


Diagrama de momento M



Se obtiene el torque producido por la acción de la banda y la polea sobre el eje tambor guía hilo:

$$T = (P1 - P2) r_{\text{polea}}$$

$$T = (10.3) * (0,00762)$$

$$T = 0,078 \text{ Nm}$$

e) Análisis del eje por Resistencia²²

Los esfuerzos en un punto de la superficie de un eje redondo macizo de diámetro d que se somete a cargas de flexión, axiales y de torsión son:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{a}) \tag{4.12}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (\text{b})$$

Donde la componente axial de σ_x puede ser aditiva o sustractiva. Obsérvese que las tres cargas M, F y T ocurren en la sección que contiene el punto superficial específico.

Utilizando un círculo de Mohr puede demostrarse que los dos esfuerzos principales no nulos son:

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{\sigma_x}{2} \pm \left[\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right]^{1/2} \tag{413}$$

²² Shigley Joseph sexta edición pág 795

Estos esfuerzos pueden combinarse para obtener el esfuerzo cortante máximo $\tau_{\text{máx.}}$, y el esfuerzo de Von Mises σ' . Los resultados son:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2} = \left[\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

Sustituyendo las ecuaciones a y b en estas se tiene:

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{S_y}{2n} = \frac{2}{\pi d^3} [(8M + Fd)^2 + (8T)^2]^{1/2}$$

Un análisis similar puede efectuarse con base en la teoría de la energía de distorsión en la falla. En este caso el esfuerzo de Von Mises permisible es:

$$\sigma'_{adm} = \frac{S_y}{n} = \frac{4}{\pi d^3} [(8M + Fd)^2 + 48T^2]^{1/2}$$

Tabla 4.5 Propiedades del acero SAE 1018²³

SAE	Procesamiento	Resistencia a Última MPa (kpsi)	Resistencia de Fluencia MPa (kpsi)	Elongación en 2 in, %	Reducción en área %	Dureza brinell
1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
	CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126

Tabla 4.6 Tabla de resultados de análisis por resistencia

PUNTO	D	B
M	2.521 Nm	3.504 Nm
T	0.6882 Nm	0.6882 Nm
Factor de Seguridad	3	3
Diámetro requerido	5.981 mm	6.646 mm
Diámetro utilizado	25 mm	15 mm

Como se ve los datos utilizados están sobredimensionados por lo que el eje no fallará por resistencia.

²³ Shigley Joseph sexta edición pág. 859

f) Análisis del eje por fatiga

Se opta la teoría del esfuerzo cortante máximo para pronosticar el esfuerzo de daño y la línea de Goodman modificada para proceder la resistencia significativa

$$\frac{1}{n} = \frac{32n}{\pi d^3} \left[\left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T_m}{S_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2}$$
$$d = \left[\frac{32n}{\pi d^3} \left[\left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T_m}{S_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

Tal como se observa en el diagrama de momento el esfuerzo máximo se produce en el punto B

De acuerdo a la ecuación es necesario encontrar el límite de resistencia a la fatiga para el material a utilizar.

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e'$$

Donde S_e' = límite de fatiga de la probeta = 0,504 S_{ut} = 0.504 (64) = 32,256 Ksi.

K_a factor de superficie

$$K_a = a S_{u_t}^b = 2,7 * (64)^{-0,265} = 0,897 \text{ (estirado en frío)}$$

K_b factor de tamaño

$$K_b = \left(\frac{d}{0,3} \right)^{-0,1133} \quad 0,11 < d < 2 \text{ in}$$

$$K_b = \left(\frac{0,6}{0,3} \right)^{-0,1133} = 0,92$$

K_c factor de confianza

$$K_c = 1 \text{ (flexión)}$$

K_d factor de temperatura

$$K_d = 1 \text{ (T = 20 °C)}$$

K_f factor de reducción de resistencia

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}} \quad \text{nota: se tiene un } r = 0.02 \text{ in}$$

$$\sqrt{a} = 0.220353 - 0.275605(10^{-2}) * S_{ut} + 0.113449(10^{-4}) S_{ut}^2 - 0.247328(10^{-7}) S_{ut}^3$$

$$\sqrt{a} = 0.084$$

$$\rightarrow q = 0.63$$

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.63 * (2.4 - 1)$$

$$K_f = 1.9$$

K_e factor de modificación por concentración del esfuerzo

$$K_e = \frac{1}{K_f}$$

$$K_e = 0.53$$

$$\rightarrow S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e'$$

$$S_e = (0,897) (0,92) (1) (1) (0.53) (32,256)$$

$$S_e = 14,10 \text{ Ksi.}$$

$$d = \left[\frac{32n}{\pi d^3} \left[\left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T_m}{S_{ut}} \right) \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0,268 \text{ in} \Rightarrow 6.83 \text{ mm}$$

Nota: diámetro mínimo requerido para la sección B.

Tabla 4.7 Tabla de resultados de análisis por fatiga

PUNTO	B
Ma	22.313 lb-in
Tm	6.1 lb-in
Factor de Seguridad	3
Diámetro requerido	6.83 mm
Diámetro utilizado	15 mm

El punto B está sobredimensionado respecto a los esfuerzos sometidos, por lo que se acepta el diámetro utilizado.

g) Selección de rodamientos para el eje del tambor guía hilo

La carga que actúa sobre los rodamientos del eje del tambor guía hilo es puramente radial por lo que se escogen rodamientos rígidos de bolas para su correcto funcionamiento. Además estos rodamientos deberán tener placas de obturación debido a que de esta forma se protegerán de cualquier impureza que se produzca por el trabajo de la máquina sobre el hilo de PET reciclado.

g.1) Selección rodamiento apoyo A

De acuerdo al diagrama de fuerza en este apoyo la fuerza radial que actúa sobre este es de $Fr = 16,15 \text{ N}$.

Se escoge del manual de rodamientos SKF²⁴ el rodamiento rígido de una hilera de bolas con una placa de obturación 6204/VA201 cuyas características se presentan en la tabla 4.6.

El tiempo mínimo de vida útil del rodamiento será de 60000 horas y se requiere una fiabilidad del 96% que permita el buen funcionamiento de la bobinadora.

La carga dinámica equivalente P es igual a la fuerza radial debida a que no existe fuerza axial. Por lo tanto $P = Fr = 16.15 \text{ N}$.

La fórmula de la vida nominal ajustada está indicada

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10} \quad \text{Manual de Rodamientos SKF (4.14)}$$

Dónde:

$$L_{na} = 60000 \text{ horas}$$

$$a_1 = 0.53 \text{ (fiabilidad del 96\%)}$$

$$a_{23} = 1 \text{ (factor de temperatura)}$$

Se obtiene la vida nominal ajustada $L_{10} = 113207.54 \text{ horas}$.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (p = 3 \text{ para rodamientos de bolas}) \quad \text{Manual de Rodamientos SKF (4.15)}$$

²⁴ Catálogo de rodamientos SKF -Anexo 3

Con este valor, la carga dinámica equivalente $P = 16,15 \text{ N}$. y $n = 20 \text{ rpm}$, se obtiene el valor de $C = 381.75 \text{ N}$. que es menor que el valor de capacidad de carga dinámica que soporta el rodamiento escogido. Es decir se ratifica el rodamiento 6204/VA201 para el apoyo A del eje tambor guía hilo.

g.2) Selección rodamiento apoyo B

Para este apoyo se tiene una carga radial de $Fr = 21,7 \text{ N}$.

Se escoge del manual de rodamientos SKF²⁵ el rodamiento rígido de una hilera de bolas con dos placas de obturación 6202/VA201 cuyas características se presentan en la tabla 4.6. Debido a que la carga sobre el rodamiento será puramente radial, la carga dinámica equivalente P es igual a la fuerza radial total que actúa sobre el apoyo B.

Es decir $P = Fr = 21,7 \text{ N}$.

Considerando un tiempo de vida medio para el rodamiento de 60000 horas y una fiabilidad del 96% que permita el buen funcionamiento de la bobinadora (semejante al rodamiento del apoyo A), se obtiene una vida nominal ajustada

$$L_{10} = 113207,54 \text{ horas.}$$

Para $n = 20 \text{ rpm}$ y utilizando los valores calculados de P y L_{10} se obtiene la carga dinámica a la que se somete el rodamiento $C = 1049.75 \text{ N}$, que es menor que el valor de capacidad de carga dinámica, por lo que se escoge el rodamiento mencionado anteriormente.

Tabla 4.8 Características de los rodamientos para el eje tambor guía hilo

APOYO	A	B
Designación	6204/VA201	6202/VA201
Diámetro interior	20 mm	15 mm
Diámetro exterior	47 mm	35 mm
Capacidad de carga estática C_0	6550 N	3750 N
Ancho	14 mm	11 mm
Masa	0,11 kg	0,045 kg

²⁵ Catalogo de rodamientos SKF -Anexo 3

h) Selección del tambor guía hilo

El tambor guía hilo es un elemento que en el mercado de la industria textil se encuentra normalizado. Para este caso hay elementos cuyas características son:

$2\frac{1}{2}$ espiras por carrera

Diámetro exterior de 70 mm

Longitud = 216,45 mm

Además se pueden encontrar tambores guía hilo de diferentes materiales como: acero, aleación de aluminio, y cerámicos, siendo el más recomendable el uso de tambores metálicos, por poseer por tener diferentes tratamientos que evitan su desgaste.



Figura 4.6 Tambor guía hilo seleccionado

4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

La estructura está compuesta de 4 soportes principales que son tubos cuadrados de acero A36 de 1 in. y dos secundarios que sirven de apoyo a los soportes principales también tubos cuadrados de acero A36 de 1 in.

A continuación se realizó el cálculo para la estructura que soportará el sistema mecánico con la ayuda del programa SAP 2000.

Para su diseño se toma en cuenta la fuerza que produce el peso de la máquina sobre los apoyos.

4.2.1 SOPORTES ESTRUCTURALES

La carga aplicada sobre apoyos es de 23 kg. Que es equivalente al peso total de la máquina.

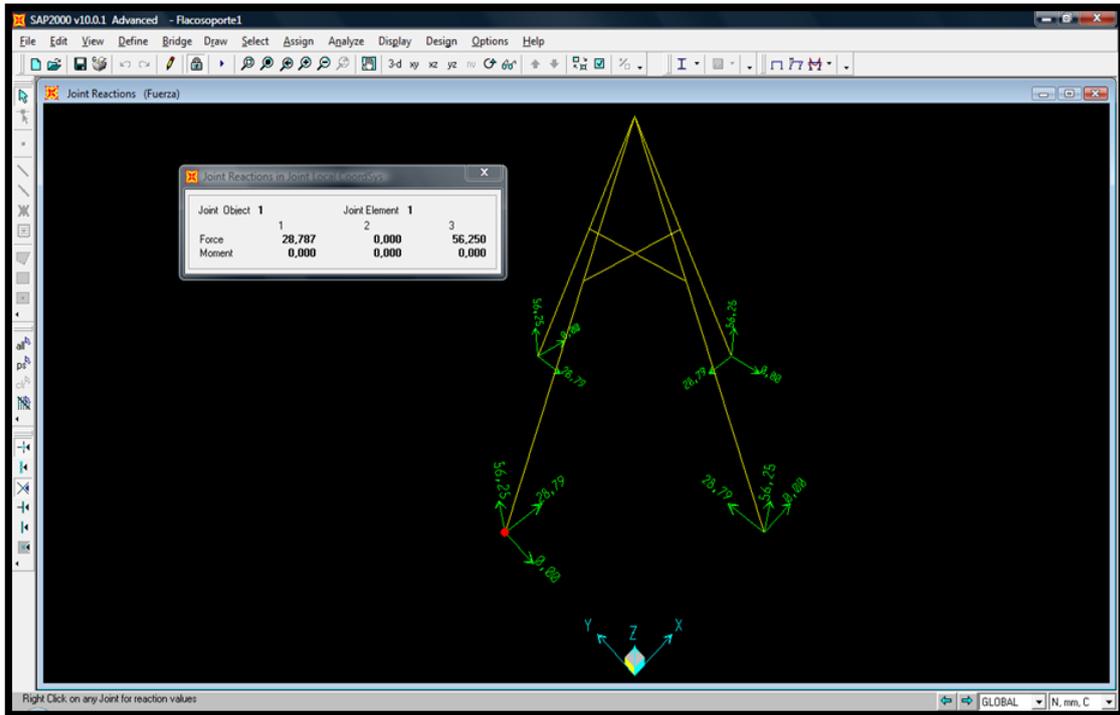


Figura 4.7 Reacciones en los apoyos al aplicar el peso de la máquina

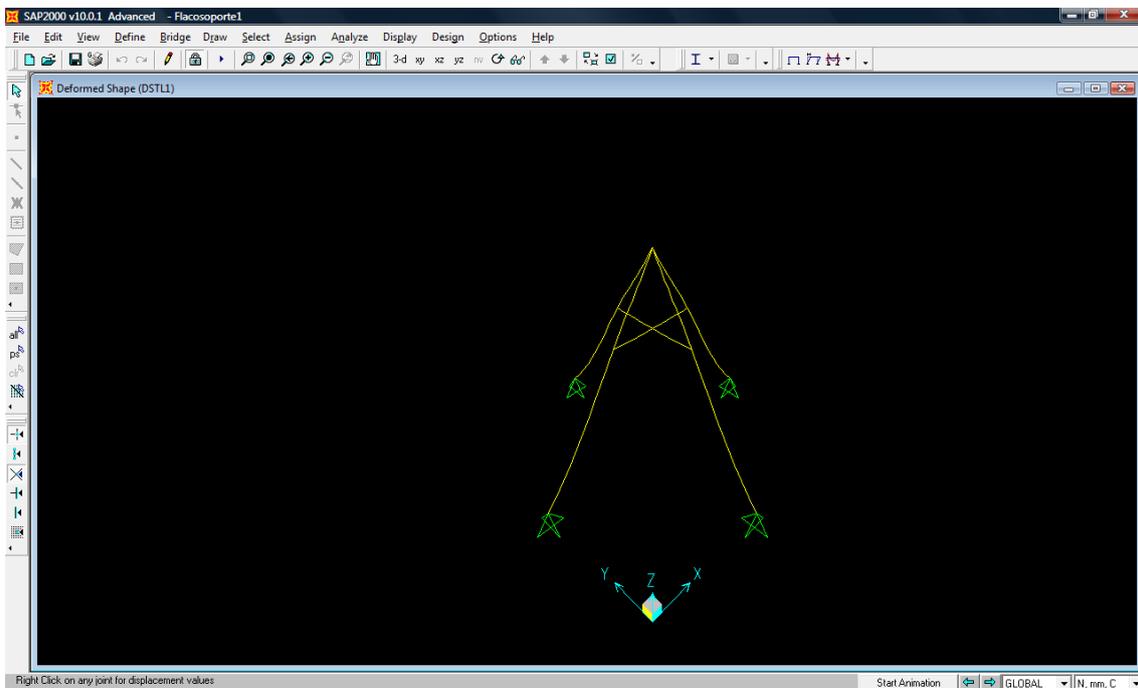


Figura 4.8 Estructura deformada por la acción del peso de la máquina

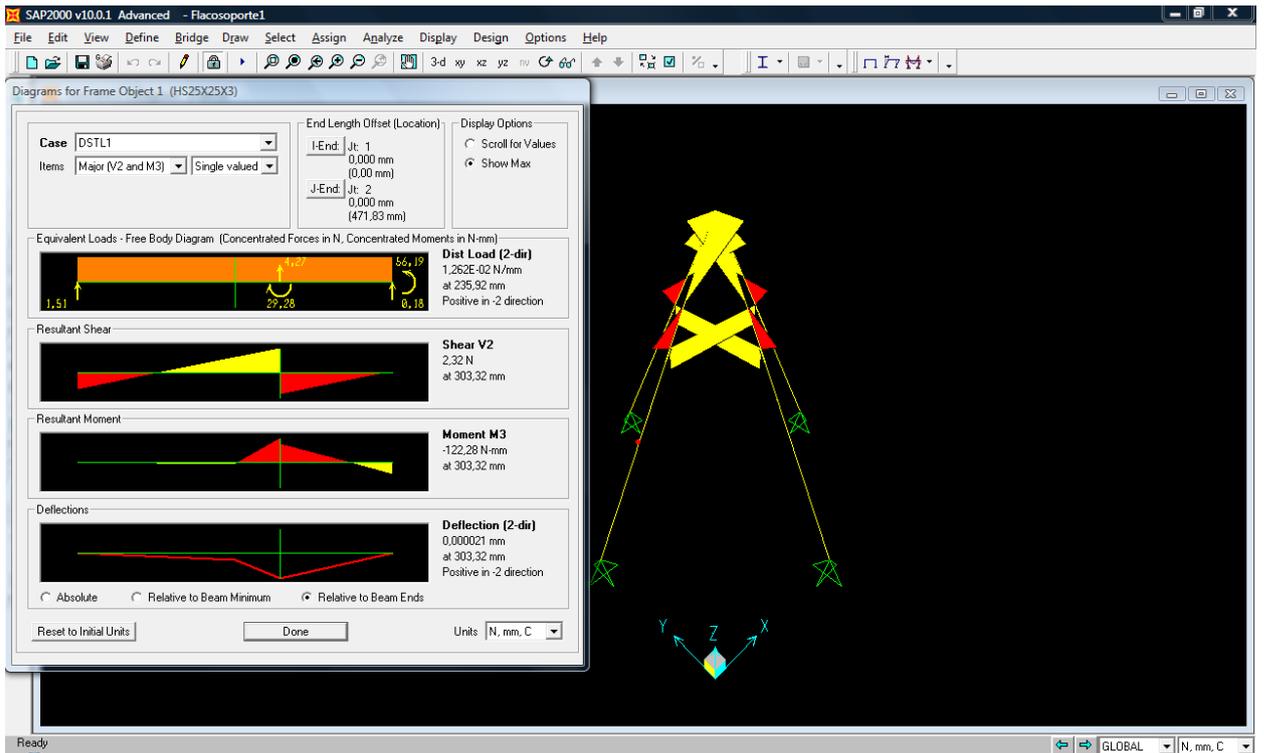


Figura 4.9 Diagramas de cargas equivalentes, fuerza cortante, momento, deflexión, en el miembro inclinado (elemento principal)

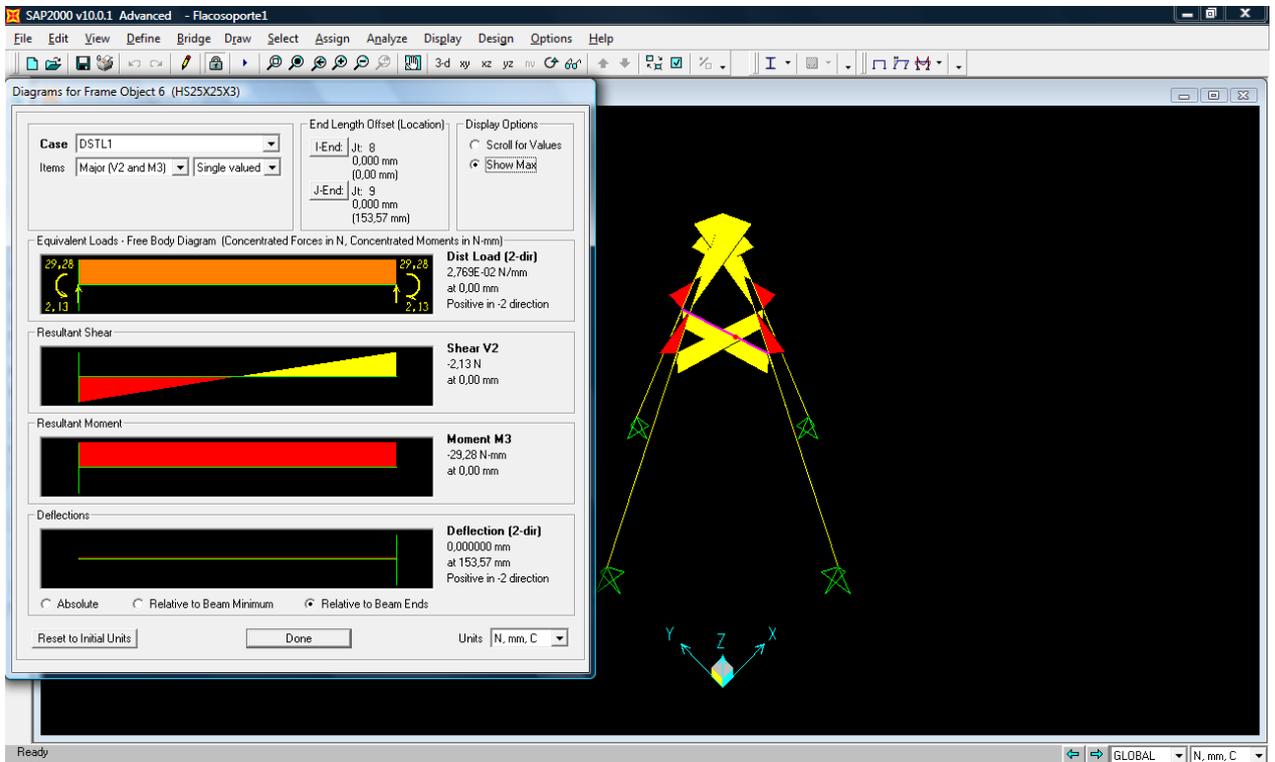


Figura 4.10 Diagramas de cargas equivalentes, fuerza cortante, momento, deflexión, en el miembro horizontal (elemento secundario).

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK								
Combo : DSTL1								
Units : N, mm, C								
Frame : 1	Design Sect: HS25X25X3							
X Mid : 107,500	Design Type: Brace							
Y Mid : 215,000	Frame Type : Moment Resisting Frame							
Z Mid : 210,000	Sect Class : Compact							
Length : 471,832	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 303,320	RLLF : 1,000							
Area : 257,000	SMajor : 1559,055	rMajor : 8,777	AUMajor: 161,540					
IMajor : 19800,000	SMinor : 1559,055	rMinor : 8,777	AUMinor: 161,540					
IMinor : 19800,000	ZMajor : 2050,000	E : 199947,979						
Ixy : 0,000	ZMinor : 2050,000	Fy : 248,211						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
303,320	-97,286	-122,279	0,000	2,317	0,000	0,000		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation (H1-1b)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0,001	= 0,001	+ 0,000	+ 0,000	0,950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	-97,286	46570,133	57411,270					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-122,279	457949,819	0,850	1,000	1,000	1,000	0,643	2,237
Minor Moment	0,000	457949,819	1,000	1,001	1,000	1,000	1,000	
SHEAR DESIGN								
	Uu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion			
Major Shear	2,317	21651,867	0,000	OK	0,000			
Minor Shear	0,000	21651,867	0,000	OK	0,000			

Figura 4.11 Análisis demanda/capacidad, simétrico para los cuatro apoyos principales.

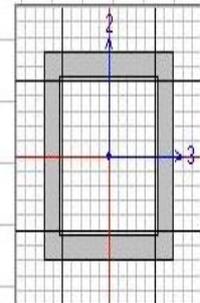
En la figura 4.11 Demand/Capacity Ratio, representa el coeficiente de suficiencia, demanda/capacidad, el cual debe ser menor o igual a 0.95, y es el que indica si la estructura sufrirá o no algún tipo de falla.

Este análisis se da para uno de los elementos principales los cuales son simétricos, y observamos que el valor obtenido es de 0,001, lo que indica que la estructura soportará sin problema el peso de la máquina.

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK

Combo : DSTL1
Units : N, mm, C

Frame : 6	Design Sect: HS25X25X3		
X Mid : 215,000	Design Type: Beam		
Y Mid : 215,000	Frame Type : Moment Resisting Frame		
Z Mid : 270,000	Sect Class : Compact		
Length : 153,571	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3		
Loc : 0,000	RLLF : 1,000		
Area : 257,000	SMajor : 1559,055	rMajor : 8,777	AUMajor: 161,540
IMajor : 19800,000	SMinor : 1559,055	rMinor : 8,777	AUMinor: 161,540
IMinor : 19800,000	ZMajor : 2050,000	E : 199947,979	
Ixy : 0,000	ZMinor : 2050,000	Fy : 248,211	



STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0,000	-5,881	-29,282	0,000	-2,127	0,000	0,000

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(H1-1b)	0,000	= 0,000	+ 0,000	+ 0,000	0,950	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-5,881	53354,953	57411,270

MOMENT DESIGN

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-29,282	457949,819	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Moment	0,000	457949,819	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

SHEAR DESIGN

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	2,127	21651,867	9,822E-05	OK	0,000
Minor Shear	0,000	21651,867	0,000	OK	0,000

Figura 4.12 Análisis demanda/capacidad, para los elementos soportes de los 4 apoyos principales.

La figura 4.12 es el análisis demanda capacidad de los elementos secundarios, soportes de los apoyos principales, arroja un valor de 0, indicando así que los soportes hacen es rigidizar más la estructura por lo que se puede asegurar que esta no sufrirá ningún tipo de falla sea de cargas axiales o vibración.

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

5.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

Los equipos y herramientas utilizados para el presente proyecto pertenecen en su totalidad a Oswaldo Coronel, propietario del taller KAEECOTER, ubicado en Calle de los Eucaliptos y Manuel Ambrosi (Sector Industrial Norte).

Dichos equipos y herramientas se detallan a continuación:

5.1.1 EQUIPOS:

Tabla 5.1 Equipos

EQUIPO	MARCA	TIPO	MODELO	IMAGEN
Soldadura	Gamma	Monofásica 220 v/50 Hz	Jet 155	
Pintura	ABAC	Compresor de aire continuo	B2800-27-CM	
Torneado	CM	Paralelo	C0636A	
Fresado	VIWA	Vertical	BF3C/CV	
Seguridad Industrial	Varios	Guantes. Gafas Transparentes. Casco para soldar. Mascarilla. Overol. Botas de seguridad	Varios	

5.1.2 HERRAMIENTAS:

Tabla 5.2 Herramientas

EQUIPO	MARCA	TIPO	MODELO	IMAGEN
Corte	SKIL	Eléctrica	9376AK	
Perforación	Bosch	Eléctrico	GBS 13	
Varios	Varios	Destornillador de estrella. Destornillador plano. Llave de pico 10 y 12mm. Lija. Flexómetro. Lima de acero. Martillo. Punzón.	Varios	

5.2 MANO DE OBRA.

La mano de obra fue supervisada por los técnicos del taller y realizada por Daniel Alejandro Freire Rodríguez y Adrián Fernando Hurtado Castillo en su totalidad, en las instalaciones de KAEECOTER.

El ensamble y pruebas del equipo se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la ESPE por Daniel Alejandro Freire Rodríguez y Adrián Fernando Hurtado Castillo en su totalidad.

Las conexiones eléctricas se hicieron por los ejecutantes del proyecto siguiendo las indicaciones del fabricante tanto para el motor eléctrico como para el variador de frecuencias.

Diagrama de procesos para la caja soporte

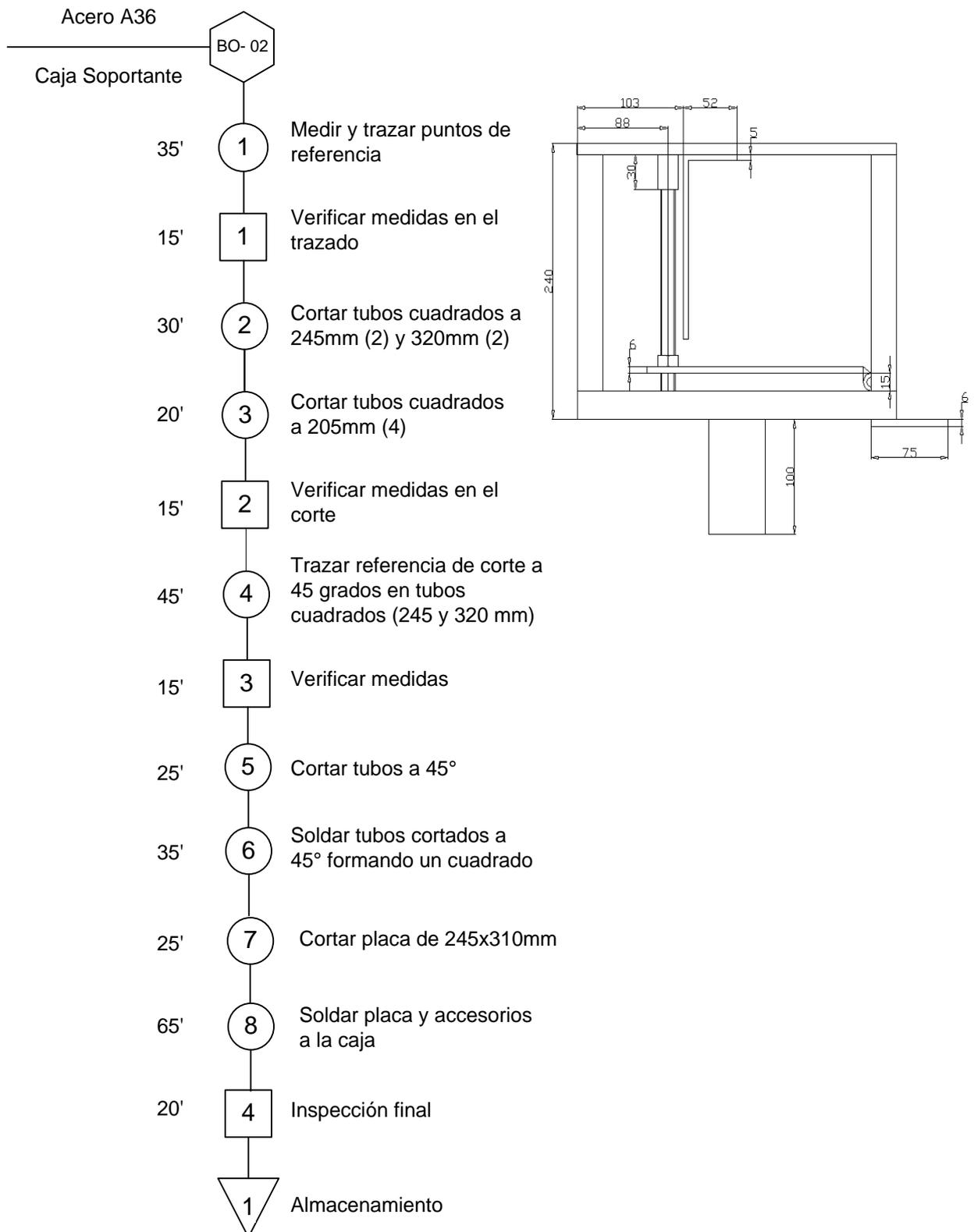


Diagrama de procesos para el eje del tambor guía-hilo

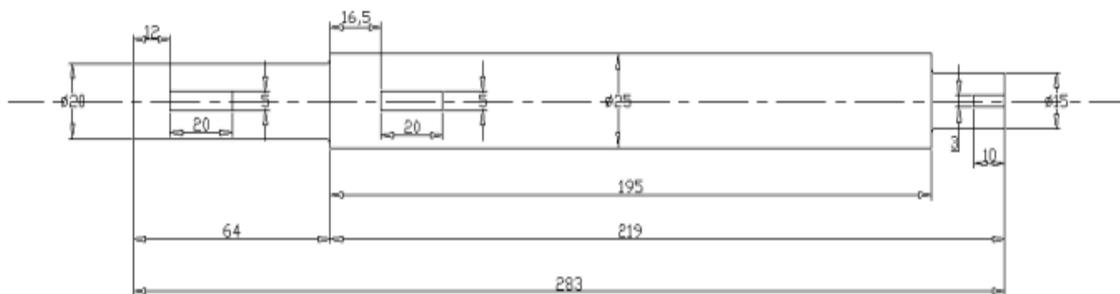
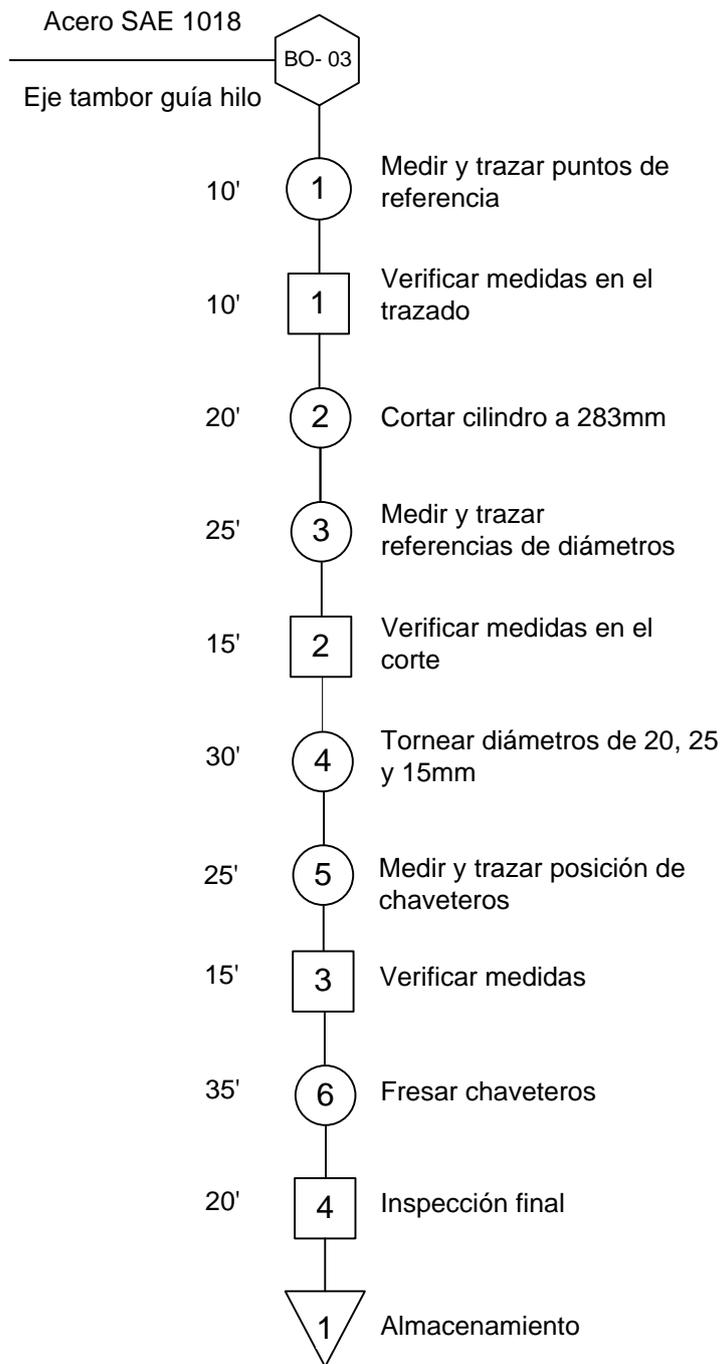
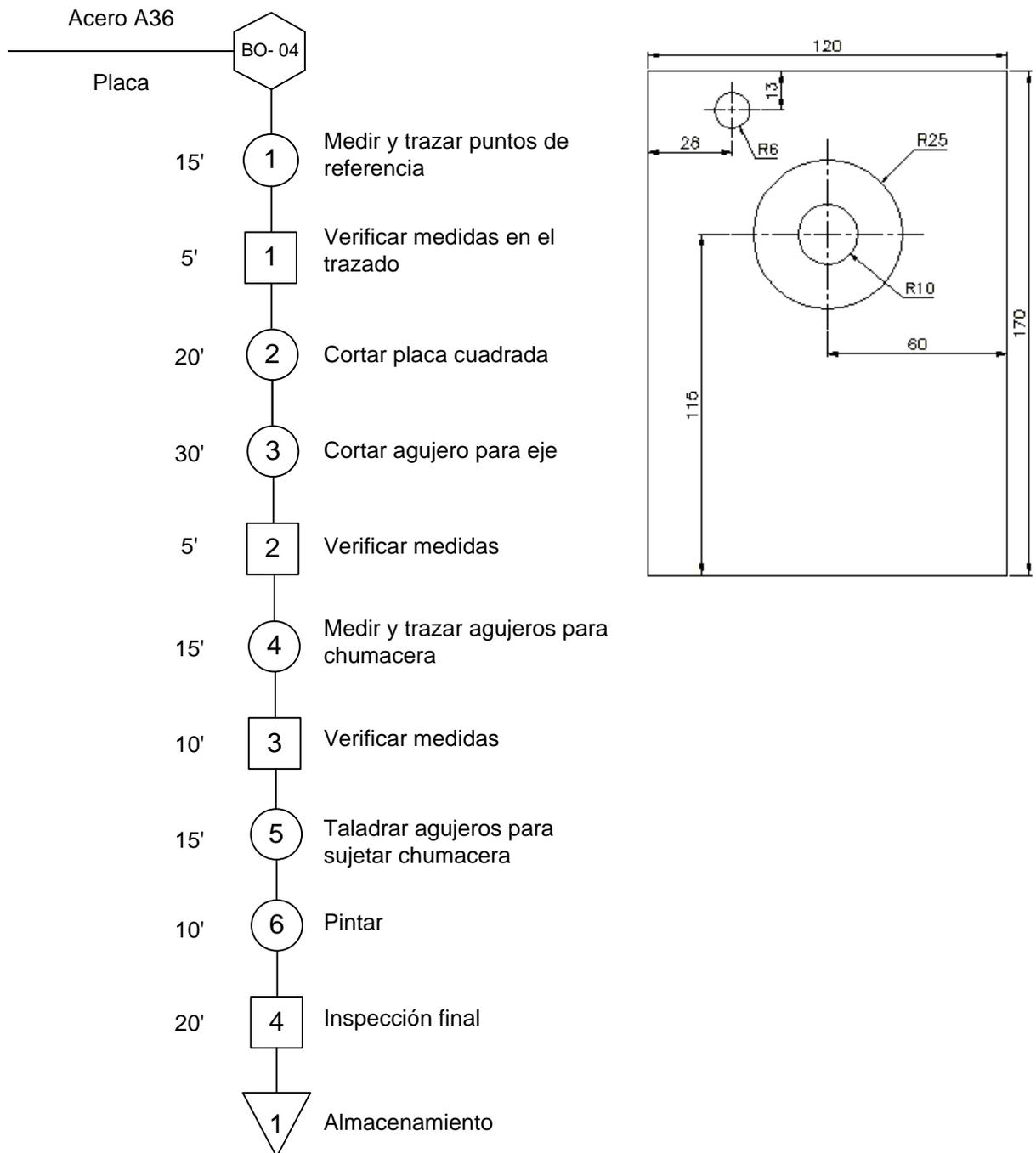


Diagrama de procesos de la placa soporte del eje bobina



CAPITULO 6

PRUEBAS.

6.1 PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

6.1.1 PROCEDIMIENTO

La puesta en marcha de la misma se debe tener en cuenta que se debe realizar todo el proceso de extrusión de RPET, esto es el secado y la utilización del desgasificador al momento de extruir el RPET para que las fibras que se bobinen sean las más adecuadas que la extrusora produzca.

6.1.1.1 PROCESO DE SECADO

Para el secado del RPET se coloca una cantidad aproximada de 350 a 500 g, en el secador, colocar el regulador de temperatura entre 90 y 100 °C, encender la niquelina y el ventilador y se lo deja durante 3 horas.



Figura 6.1 Secado de RPET

6.1.1.2 EXTRUSIÓN Y DESGASIFICADO

La extrusora debe estar previamente calentada entre 270 - 280 °C para dejarla sin residuos de procesos anteriores, para lo cual se pone en marcha el tornillo

mediante el motor eléctrico regulado por el variador de frecuencia entre 35 y 50 Hz; luego de unos 10 segundos en que ya no salga material residual.

Apagar el motor que mueve al tornillo y se estabiliza la extrusora a una temperatura de 180 °C, las temperaturas van a ser visibles en dos paneles digitales y calibrados de manera manual con un control análogo que regulan la temperatura.



Figura 6.2 Evacuación de material residual



Figura 6.3 Variador de frecuencia extrusora y control análogo de temperatura respectivamente

Entonces se procede a poner en la boquilla de entrada del desgasificador el RPET que debe ser sacado poco a poco del secador para que tenga ya una temperatura alta y no absorba humedad, lo que facilitara el proceso de extrusión y desgasificación.



Figura 6.4 Colocación de RPET en la boquilla de alimentación de la desgasificadora

Una vez puesto el RPET en la extrusora se procede a encender el tornillo de la misma a una frecuencia entre 15 a 30 Hz, y se enciende el desgasificador, lo que permite la producción de un material más estable y continuo que al hacerlo sin los procesos mencionados.



Figura 6.5 Material continuo y estable producido por la extrusora

6.1.1.3 BOBINADO

Encender la bobinadora y regular la velocidad del motor con el variador de frecuencia, tratando de estabilizarla a la velocidad con la que sale el material de la extrusora, de tal manera que se trate de mantener un diámetro uniforme a la apreciación visual.



Figura 6.6 Variador de frecuencia bobinadora

Se debe estar pendiente de la salida de material de la extrusora para que no vaya a romperse el hilo, o mande un exceso de material.

Una vez visto esto se procede a estirar el material y bobinarlo primeramente de forma manual en el eje bobina, luego de estabilizar su velocidad y observando que ya empieza a bobinarse el material de forma continua se lo hace pasar por la polea y barra tensora que son las que hacen que el hilo siga de mejor manera la forma del tambor guía hilo.

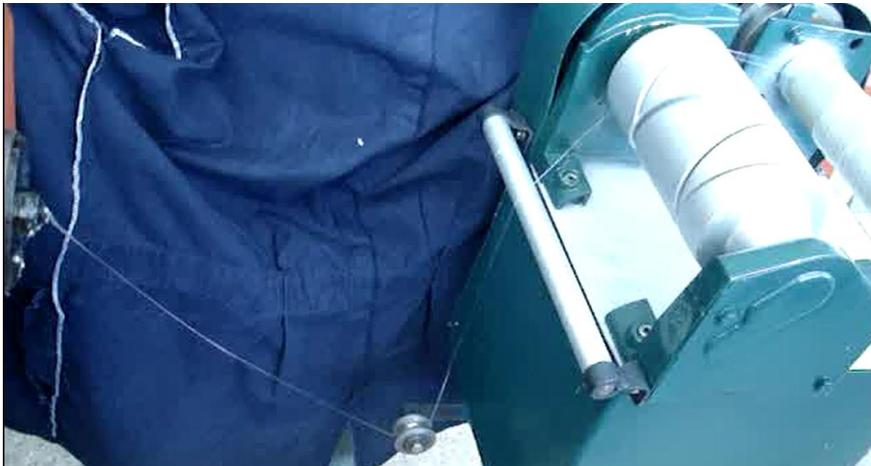


Figura 6.7 Bobinado

6.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

6.2.1 PROCEDIMIENTO

Las pruebas que a continuación se van a realizar son ensayos de tracción, lo primero que se realiza para dicha prueba es seleccionar la fibra apropiada para

el ensayo tomando en cuenta algún parámetro de referencia, por lo que se toma un diámetro uniforme.

En este caso se van a cortar probetas de 100 mm de longitud teniendo en cuenta que en cada probeta se va a marcar a 20 mm del extremo más cercano como referencia para poder medir su longitud final luego de exponerse a la tracción.



Figura 6.8 Muestra de fibra para prueba de tracción

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 son bajas.

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.

1. Se coloca una hoja de papel milimetrado, para de esta manera facilitar la interpretación del gráfico trazado por la máquina.



Figura 6.10 Papel milimetrado montado en la máquina de ensayos AMSLER

2. Con el fin de obtener una mayor apreciación en los gráficos se selecciona la escala más baja proporcionada por la máquina (*figura 6.11*), misma que posterior al ensayo demostró ser la adecuada.

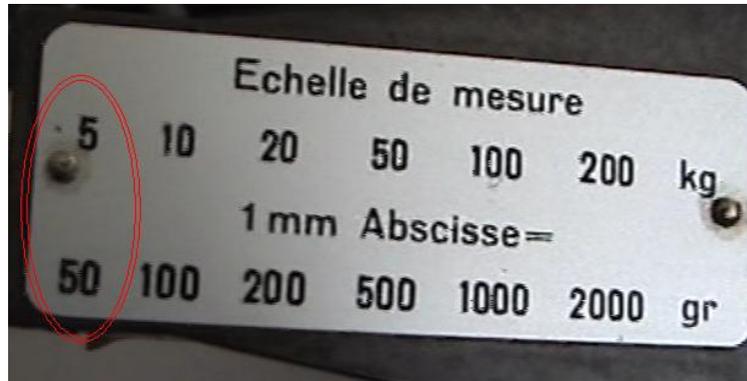


Figura 6.11 Placa de escalas de la máquina de ensayos AMSLER

3. Una vez encerada la máquina se procedió a realizar el ensayo a los diferentes grupos de fibras, hasta de terminar un patrón de comportamiento para las fibras obtenidas bajo los mismos parámetros.
4. Finalizado el ensayo se retiraron las fibras de la máquina para determinar la deformación que estas sufrieron.
5. Con la interpretación del gráfico en el papel milimetrado, proporcionado por la máquina, se puede determinar el comportamiento a tracción de las fibras de RPET.

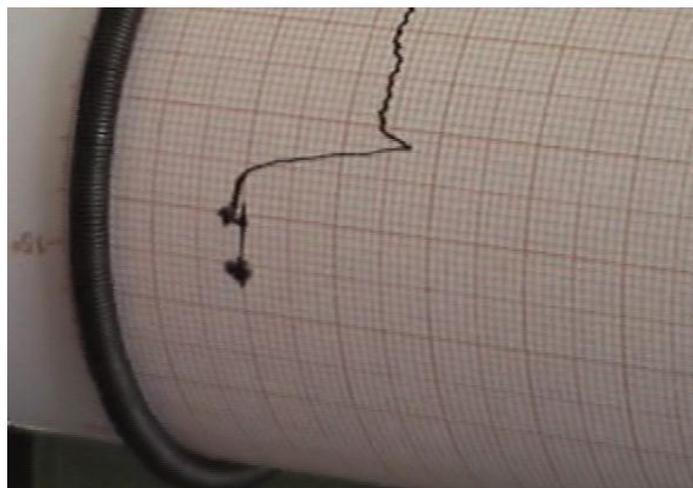


Figura 6.12 Gráfico arrojado por la máquina de ensayos AMSLER

6.2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS.

- MUESTRA 1

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 170 °C
Temperatura boquilla 170 °C
Frecuencia 30 Hz
Secado 100 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 9 Hz

Tabla 6.1 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 1

Probeta	DIÁMETRO mm					Diámetro medio mm
	1	2	3	4	5	
1	0,39	0,34	0,36	0,36	0,39	0,37
2	0,35	0,36	0,39	0,38	0,38	0,37
3	0,38	0,41	0,41	0,38	0,36	0,39
4	0,44	0,40	0,40	0,39	0,40	0,41
5	0,42	0,35	0,33	0,36	0,37	0,37

- MUESTRA 2

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 170 °C
Temperatura boquilla 170 °C
Frecuencia 30 Hz
Secado 100 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 4 Hz

Tabla 6.2 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 2

Probeta	DIÁMETRO mm					Diámetro medio mm
	1	2	3	4	5	
1	0,66	0,58	0,54	0,53	0,49	0,56
2	0,60	0,59	0,53	0,56	0,58	0,57
3	0,51	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43
4	0,62	0,79	0,77	0,74	0,71	0,73
5	0,62	0,75	0,72	0,70	0,60	0,68

- MUESTRA 3

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 180 °C
 Temperatura boquilla 180 °C
 Frecuencia 10 Hz
 Secado 80 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 10 Hz

Tabla 6.3 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 3

Probeta	DIÁMETRO mm					Diámetro medio mm
	1	2	3	4	5	
1	0,35	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34
2	0,45	0,45	0,34	0,37	0,37	0,39
3	0,43	0,45	0,48	0,48	0,48	0,46
4	0,48	0,47	0,44	0,43	0,43	0,45
5	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,45

- MUESTRA 4

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 180 °C
 Temperatura boquilla 180 °C
 Frecuencia 10 Hz
 Secado 80 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 6 Hz

Tabla 6.4 Datos obtenidos de fibra de RPET muestra 4

Probeta	DIÁMETRO mm					Diámetro medio mm
	1	2	3	4	5	
1	0,50	0,50	0,48	0,50	0,48	0,49
2	0,48	0,51	0,48	0,51	0,47	0,49
3	0,56	0,51	0,46	0,47	0,48	0,50
4	0,55	0,52	0,53	0,51	0,50	0,52
5	0,46	0,49	0,50	0,47	0,50	0,48



Figura 6.13 Ejemplo de ensayo de tracción de fibra de RPET

6.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

Cálculo del alargamiento porcentual

$$A\% = \frac{(L - L_o)}{L_o} * 100 \quad (6.1)$$

Dónde:

A%=alargamiento porcentual

L= longitud final

Lo= longitud inicial

Ejemplo de cálculo:

$$A\% = \frac{(29 - 10)}{10} * 100$$

$$A\% = 190$$

Cálculo del Esfuerzo último

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \quad (6.2)$$

Dónde:

σ_u = Esfuerzo último

P_u = Fuerza última

A = Área transversal

Ejemplo de cálculo:

$$\sigma_u = 4,41 \text{ N} / 0,107521 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = 4.1015 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \sigma_{u1} = 4,1015 \text{ MPa}$$

Nota: σ_{u1} corresponde al esfuerzo último para la primera probeta de la muestra 1 de RPET tomada para ejemplo de cálculo

- MUESTRA 1

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 170 °C
Temperatura boquilla 170 °C
Frecuencia 30 Hz

BOBINADORA

Frecuencia 9 Hz

Tabla 6.5 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 1

#	Diámetro mm	Lo mm	A mm ²	L mm	Alargamiento porcentual %	Fuerza Última (Pu) N	Esfuerzo Último MPa	Deformación Unitaria
1	0,37	100	0,11	390	290	4,41	4,10	2,90
2	0,37	100	0,11	470	370	6,37	5,92	3,70
3	0,39	100	0,12	328	228	5,88	4,92	2,28
4	0,41	100	0,13	381	281	6,37	4,82	2,81
5	0,37	100	0,11	281	181	3,92	3,65	1,81
media	0,38					5,39	4,68	2,70

Diámetro medio final: 0,165 mm

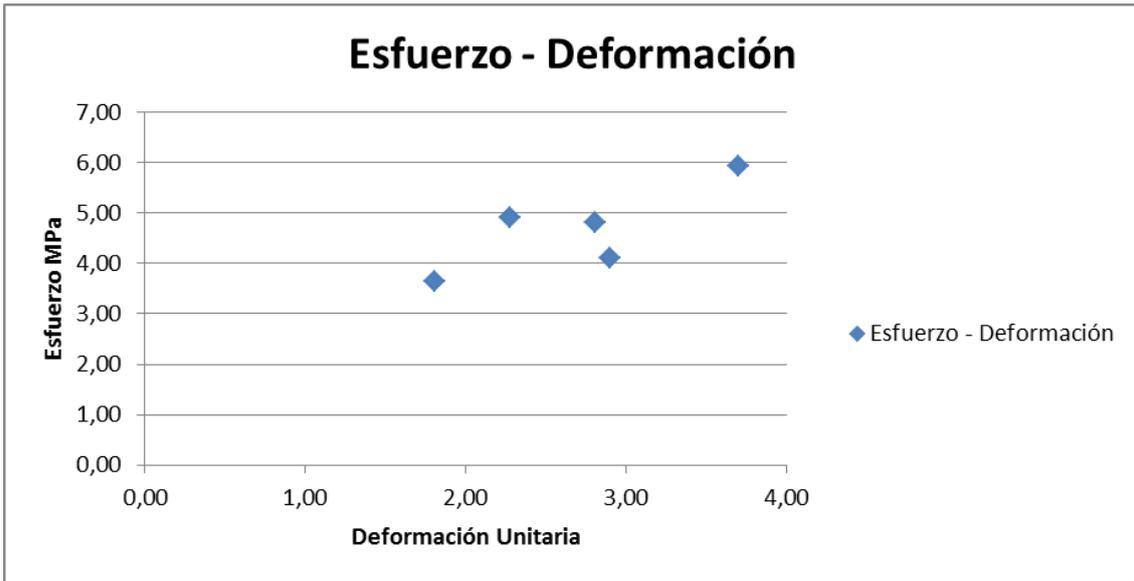


Figura 6.14 Gráfico esfuerzo – deformación para probeta de RPET 1

En la gráfica se observa que no son tan uniformes los resultados, esto puede ser ocasionado por que en algunas probetas pudo haber alguna burbuja de aire que hizo de esa probeta menos resistente.

- MUESTRA 2

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 170 °C
 Temperatura boquilla 170 °C
 Frecuencia 30 Hz

BOBINADORA

Frecuencia 4 Hz

Tabla 6.6 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 2

#	Diámetro mm	Lo mm	A mm ²	L mm	Alargamiento porcentual %	Fuerza Última (Pu) N	Esfuerzo Último MPa	Deformación Unitaria
1	0,56	100	0,25	470	370	11,27	4,58	3,70
2	0,57	100	0,26	203	103	12,25	4,80	1,03
3	0,43	100	0,15	311	211	4,41	3,04	2,11
4	0,73	100	0,42	370	270	16,66	3,98	2,70
5	0,69	100	0,37	300	200	8,82	2,36	2,00
media	0,60					10,68	3,75	2,31

Diámetro medio final: 0,296 mm

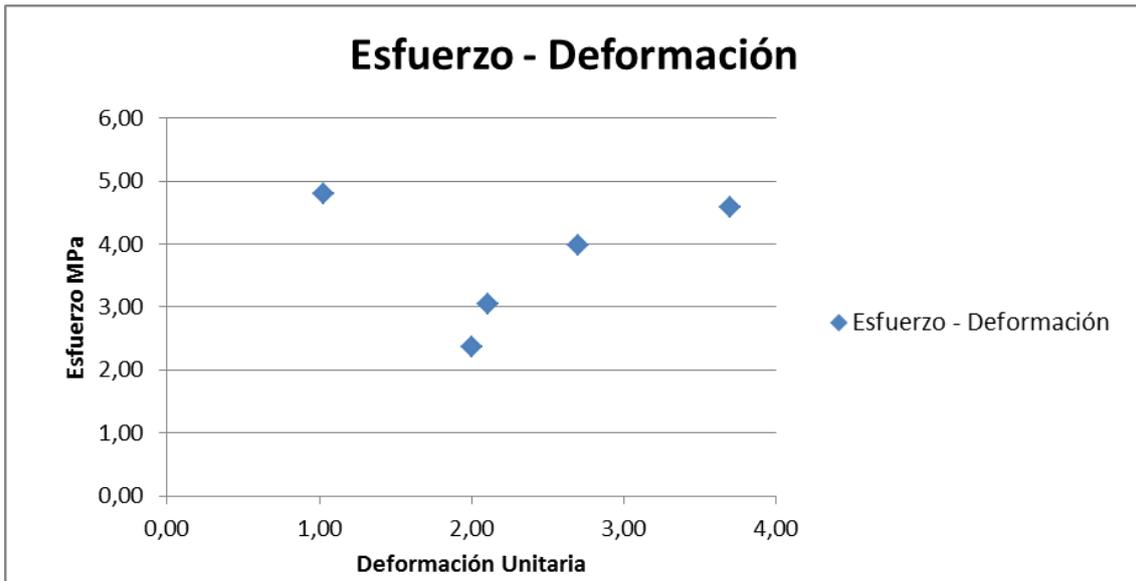


Figura 6.15 Gráfico esfuerzo – deformación para probeta de RPET 2

- MUESTRA 3

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 180 °C
 Temperatura boquilla 180 °C
 Frecuencia 10 Hz
 Secado 80 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 10 Hz

Tabla 6.7 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 3

#	Diámetro mm	Lo mm	A mm ²	L mm	Alargamiento porcentual %	Fuerza Última (Pu) N	Esfuerzo Último MPa	Deformación Unitaria
1	0,34	100	0,09	100	0	3,92	4,42	0,00
2	0,39	100	0,12	346	246	4,41	3,77	2,46
3	0,46	100	0,17	415	315	4,41	2,61	3,15
4	0,45	100	0,16	110	10	7,84	4,93	0,10
5	0,45	100	0,16	103	3	7,84	4,97	0,03
media	0,42					5,68	4,14	1,15

Diámetro medio final: 0,267 mm

Diagramas obtenidos en el ensayo de tracción para las probetas de la muestra de RPET # 3

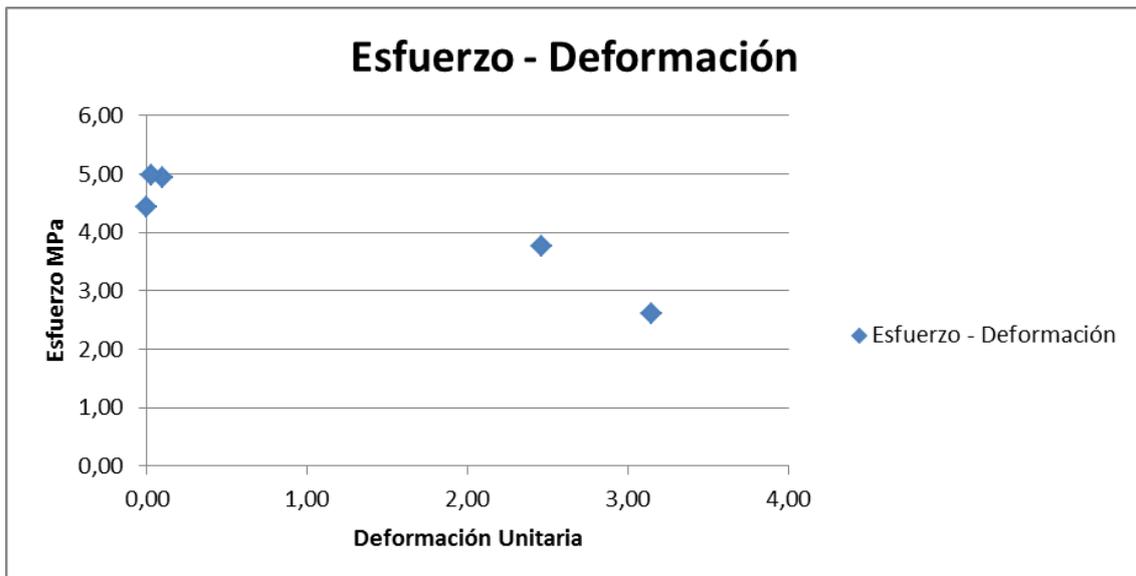
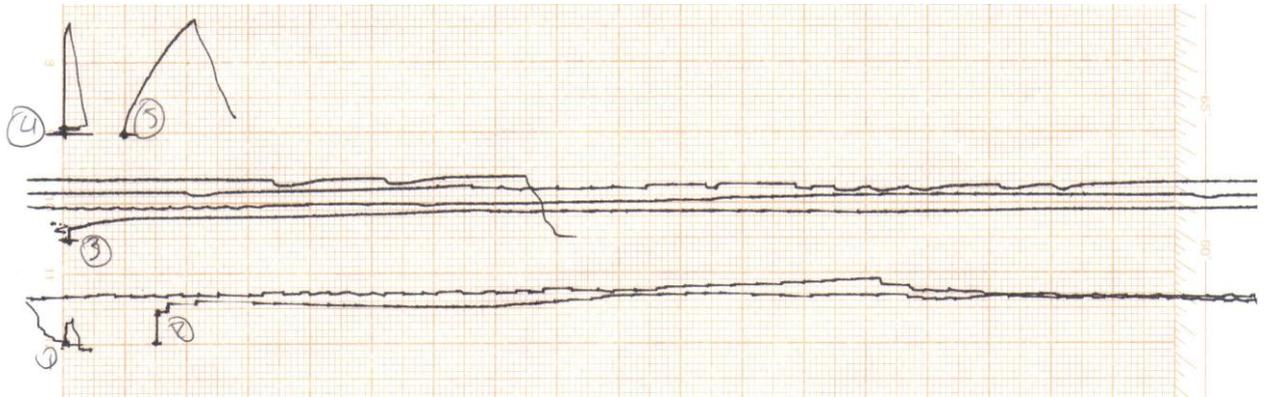


Figura 6.16 Gráfico esfuerzo – deformación para probeta de RPET 3

En la gráfica se observa que las probetas fueron más uniformes que las de la muestra 1 y 2 de RPET, a pesar de que el salto que se observa entre las probetas 3 y 4 puede haber influido que entre esas se haya formado una burbuja de aire que no permitió que siga la uniformidad de resultados obtenidos.

- MUESTRA 4

EXTRUSORA

Temperatura tornillo 180 °C
 Temperatura boquilla 180 °C
 Frecuencia 10 Hz
 Secado 80 °C (durante 3 horas)

BOBINADORA

Frecuencia 6 Hz

Tabla 6.8 Resultados obtenidos de fibra de RPET muestra 4

#	Diámetro mm	Lo mm	A mm ²	L mm	Alargamiento porcentual %	Fuerza Última (Pu) N	Esfuerzo Último MPa	Deformación Unitaria
1	0,49	100	0,19	537	437	9,31	4,90	4,37
2	0,49	100	0,19	280	180	9,31	4,94	1,80
3	0,50	100	0,19	102	2	6,86	3,55	0,02
4	0,52	100	0,21	100	0	7,84	3,66	0,00
5	0,48	100	0,18	341	241	8,82	4,79	2,41
media	0,50					8,43	4,37	1,72

Diámetro medio final: 0,302 mm

Diagramas obtenidos en el ensayo de tracción para las probetas de la muestra de RPET # 4

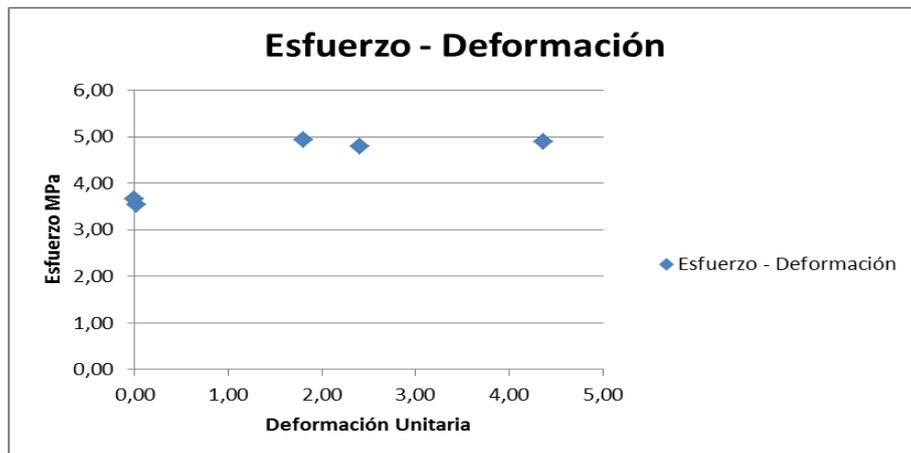
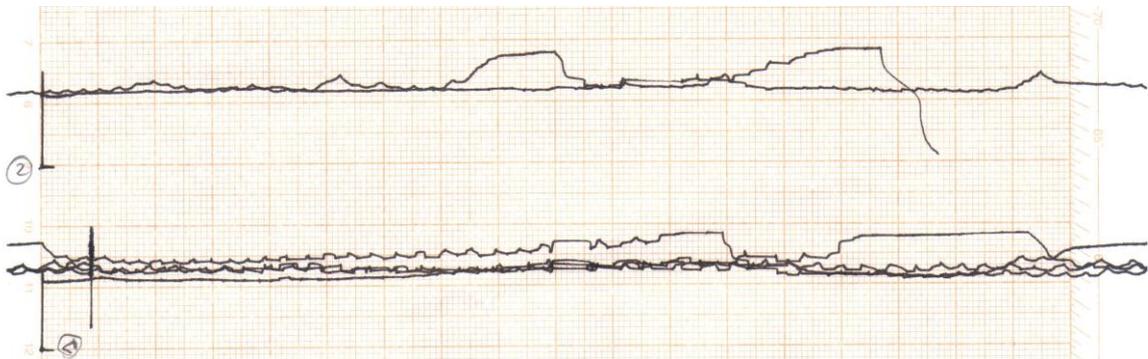


Figura 6.17 Gráfico esfuerzo – deformación para probeta de RPET 4

Resumen de resultados.

Tabla 6.9 Resumen de resultados (media de valores por muestra)

Muestra	Diámetro	Esfuerzo Último	Deformación Unitaria	Fuerza Última
1	0,38	4,68	2,70	5,39
2	0,60	3,75	2,31	10,68
3	0,42	4,14	1,15	5,68
4	0,50	4,37	1,72	8,43
promedio	0,48	4,24	1,97	7,55

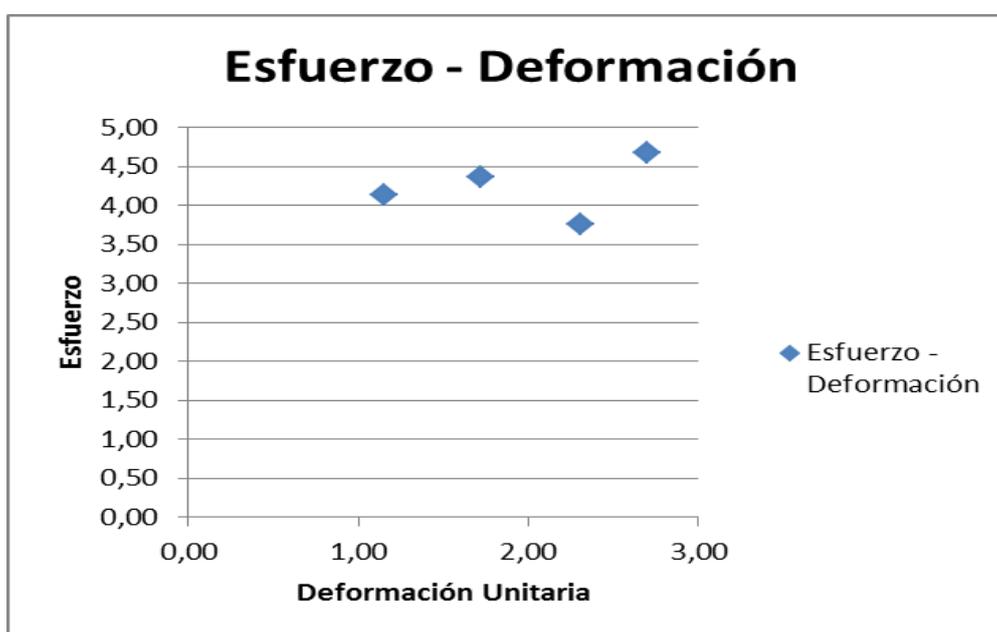


Figura 6.18 Gráfico esfuerzo – deformación media de todas las muestras

Con este resumen de resultados se observa que la muestra 1 de RPET es la que obtuvo mayor deformación unitaria y mayor esfuerzo, la muestra 2 a pesar de haber resistido la mayor fuerza última es la que menor esfuerzo obtuvo de acuerdo a su deformación unitaria.

De acuerdo a la tabla se podría decir que a menor diámetro mayor esfuerzo a pesar de que la muestra 4 sale de este concepto.

Esto se debe a que al momento de extruir el material se haya formado burbujas de aire lo que ocasiona que las fibras no sean homogéneas.

Las muestras tuvieron un promedio de resistencia a tracción de 4.19 MPa. y soportaron a un promedio de fuerza axial de 7,5 N.

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1.1 COSTOS DIRECTOS

Tabla 7.1 Remuneración a profesionales.

Nombre	Cargo	Tiempos Horas	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Ing. Carlos Suntaxi	Director	40	15	600,00
Ing. Patricio Riofrío	Codirector	40	15	600,00
			SUBTOTAL 1	1200,00

Fuente: Propia

Tabla 7.2 Remuneración a estudiantes.

Nombre	Cargo	Tiempos Horas	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Sr. Daniel Freire	Responsable del proyecto	640	3	1.920,00
Sr. Adrián Hurtado	Responsable del proyecto	640	3	1.920,00
			SUBTOTAL 2	3.840,00

Fuente: Propia

Tabla 7.3 Materia prima

Descripción	Cantidad utilizada	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	
PET molido	3 Kg	1,60	4,80	
Pernos M6	24	0,20	4,80	
Materiales reciclados (Tubo de acero cuadrado de 1", tornillo, plancha de tol placas de acero)	18 Kg	100,00	100,00	
Motor Eléctrico Siemens 1LA7 de 0.5 hp	1	109,00	109,00	
Variador de frecuencia sinamics G110	1	182,00	182,00	
Panel de operación básica (BOP) para variador G110	1	28,58	28,58	
			SUBTOTAL 3	429,18

Fuente: Propia

Tabla 7.4 Otros costos directos

Descripción	Costo total (USD)
Pruebas en equipos	50,00
Pago de derechos de grado	550,00
SUBTOTAL 4	600,00

Fuente: Propia

7.1.2 COSTOS INDIRECTOS**7.1.2.1 DE CONSTRUCCIÓN****Tabla 7.5** Insumos

Descripción	Cantidad utilizada	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
lijas	2	0,54	1,08
pintura negra (tarro Spray)	4	1,95	7,80
pintura roja (tarro Spray)	1	2,10	2,10
pintura verde (tarro Spray)	2	4,19	8,38
pintura aluminio (tarro Spray)	1	5,08	5,08
cinta maskin	1	1,78	1,78
masilla (1tarro)	1	5,20	5,20
banda	1	5,00	5,00
SUBTOTAL 5			36,42

Fuente: Propia

Tabla 7.6 Asesoría y supervisión

Oficio	Tiempos Horas	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Mecánico	24	5,00	120,00
SUBTOTAL 6			120,00

Fuente: Propia

Tabla 7.7 Consumo eléctrico

Equipo	Tiempos Horas	Valor kwh (USD)	Consumo por hora (kw)	Costo Total (USD)
Secadora de PET	6	0,08	1,20	7,20
Maquina extrusora	8	0,08	0,85	6,80
Motor eléctrico y variador de frecuencia	8	0,08	0,85	6,80
SUBTOTAL 7				20,8

Fuente: Propia

7.1.2.2 DE ESTUDIO

Tabla 7.8.- Asesoría y supervisión

Cargo	Tiempos Horas	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Técnico de laboratorio	10	5,00	50,00
SUBTOTAL 8			50,00

Fuente: Propia

Tabla 7.9.- Materiales e insumos

Descripción	Costo total (USD)
Materiales de oficina	50,00
Materiales varios	20,00
Transporte	60,00
servicios básicos (electricidad, agua potable, teléfono, otros)	80,00
servicios de internet	150,00
impresiones y copias	260,00
tinta impresora	56,00
SUBTOTAL 9	676,00

Fuente: Propia

Tabla 7.10.- Consumo eléctrico

Equipo	Tiempos Horas	Valor kwh (USD)	Consumo por hora (kw)	Costo Total (USD)
Máquina para tracción de fibras	2	0,08	1,20	2,40
SUBTOTAL 10				2,40

Fuente: Propia

Tabla 7.11.- Total general costos del proyecto

		Concepto	Costo (USD)
Costos Directos		Remuneración a profesionales	1200,00
		Remuneración a estudiantes	3.840,00
		Materia prima	429,18
		Otros	600,00
Costos Indirectos	De Construcción	Insumos	36,42
		Asesoría y supervisión	120,00
		Consumo eléctrico	20,80
	De Estudio	Asesoría y supervisión	50,00
		Materiales e Insumos	676,00
		Consumo eléctrico	2,40
		Pago uso de equipos	270,00
		Imprevistos	737,28
		Total (USD)	7.982,08

Fuente: Propia

7.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Tabla 7.12.- Financiamiento del proyecto

Rubro	Costo tiempo (USD)	Costo efectivo (USD)	Total (USD)	Financiamiento
Asesoría y supervisión	170,00	50,00	220,00	Estudiantes
Materiales e insumos		1.141,60	1.141,60	Estudiantes
Remuneración profesionales	1.200,00	200,00	1.400,00	Estudiantes
Remuneración estudiantes	3.840,00		3.840,00	Estudiantes
Material y equipos		270,00	270,00	Estudiantes
Pruebas de equipo	600,00	50,00	650,00	Estudiantes
TOTAL	5.810,00	1.711,60	7.521,60	

Fuente: Propia

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. Las hojuelas que brindan mejores características a las fibras obtenidas en el proceso de extrusión, son de PET transparente, lavado, seco y aquellas que su dimensión no sea mayor a 10 mm.
2. Las hojuelas sometidas a un secado previo, permitieron que las probetas obtenidas sean más uniformes y que se pueda bobinarlas con un diámetro entre 0,41 mm a 0,49 mm, rango mucho más elevado que las probetas sin secado previo.
3. Para evitar la presencia de burbujas en el interior del material compuesto, se precalienta con la ayuda del secador entre 90 °C y 100 °C durante 3 horas.
4. Para obtener fibras más uniformes la bobinadora debe estar a la misma frecuencia que la extrusora, alrededor de 10 Hz a 25 Hz.
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.
6. Se debe tener muy en cuenta que para obtener mejores resultados en las probetas se debe evitar que el material una vez secado recobre humedad, por lo que se necesita poner de la manera más rápida posible el material secado en la extrusora.
7. Las muestras tuvieron un promedio de resistencia a tracción de 4.19 MPa. y soportaron a un promedio de fuerza axial de 7.5 N.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener cuidado en la selección de las hojuelas, usando de preferencia aquellas con dimensiones de entre 4 mm a 8 mm.
2. Para conseguir una correcta extrusión los parámetros de funcionamiento de la máquina extrusora deben estar bien calibrados, es decir. Temperatura de extrusión 180 °C, frecuencia de la extrusora entre 10 Hz y 25 Hz.
3. Es preferible sacar poco a poco el material del secador para que no recupere humedad, 350 gr de RPET, es una cantidad recomendable para secar y vaciar en la extrusora.
4. Tomar en cuenta que mientras más baja sea la frecuencia a la que se calibre la extrusora y la bobinadora, más grande será el diámetro de las fibras.
5. Se debe tener cuidado al momento de bobinar la fibra manualmente, ya que se lo debe hacer cuando el material esté saliendo de forma estable.
6. Poner las hojuelas en la extrusora sacadas del secador en un tiempo máximo aproximado de 2 minutos para que no recobre humedad y el material extruido no presente burbujas de aire lo que no permitiría obtener buenos resultados en las pruebas.
7. Si se evitara que se produzcan burbujas de aire en las fibras, podremos obtener fibras que soporten a fuerzas axiales mayores al promedio de 7.5 N. para lo cual debería revisarse la extrusora y sus componentes.

ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: FOTOS



Montaje de polea tensora



Montaje de motor



Base y soporte ensamblados de la máquina bobinadora



Proceso de bobinado



Bobina de fibras de RPET



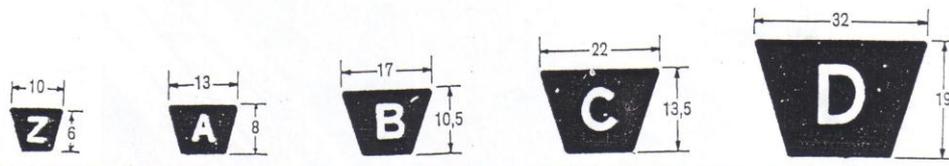
Muestras de fibras obtenidas

ANEXO 3: CATALOGOS

Standard lengths for HP-E V-belts

Trelleborg standard range includes all British Standard lengths. The length tolerances for each belt are in accordance BSS.1440-1971.

HP-E sections



It	Pitch length mm.				Belt No.	Pitch length mm.			
	Z	A	B	C		Z	A	B	C
	405	—	—	—	50	—	1300	1310	—
	430	—	—	—	51	1330	1330	1340	1350
	—	—	—	—	52	—	1360	1370	—
	475	—	—	—	53	—	1380	1390	—
	—	—	—	—	54	—	1410	1410	—
	530	540	—	—	55	1420	1430	1440	1450
	—	570	—	—	56	—	1460	1460	1480
	580	590	—	—	57	—	1480	1490	—
	—	620	—	—	58	—	1510	1510	—
	625	640	650	—	59	—	1530	1540	—
	655	670	—	—	60	1540	1550	1560	1580
	700	700	—	—	61	—	1580	1590	—
	—	720	726	—	62	—	1610	1620	—
	735	740	750	—	63	—	1640	1640	—
	—	770	—	—	64	—	1660	1670	—
	780	790	800	—	65	—	1690	1690	1700
	—	820	830	—	66	—	1710	1720	—
	840	850	860	—	67	—	1740	1740	—
	855	870	880	—	68	—	1760	1760	1780
	—	890	910	—	69	—	1790	1800	—
	920	920	930	—	70	—	1810	1820	1830
	935	950	960	—	71	1825	1840	1850	1860
	—	970	980	—	72	—	1860	1870	1880
	995	990	1000	—	73	—	1890	1900	—
	—	1020	1030	—	74	—	1920	1920	—
	1050	1050	1060	—	75	—	1940	1950	1950
	1060	1070	1080	—	76	—	1960	1970	1990
	1080	1100	1100	—	77	—	1990	2000	2010
	—	1130	1130	—	78	—	2020	2020	2040
	—	1150	1160	—	79	—	2050	2050	—
	—	1180	1180	—	80	—	2070	2070	2090
	—	1200	1210	—	81	—	2090	2100	2110
	—	1230	1240	—	82	—	2120	2130	2140
	—	1250	1260	1275	83	—	2140	2150	2170
	—	1280	1290	—	84	—	2170	2180	—

It No. = inside length, inches

Continued on page 7

Table 1. Service factor "K_d"

Type of duty	Driven machine:	Driving unit			Driving unit		
		AC motors: normal torque, single-phase and three-phase. Starting torque approx 150% of full load.			AC motors: high torque, squirrel-cage, single and three-phase, series wound and slip ring. Starting torque approx 200—250% of full load.		
		DC motors: shunt wound.			DC motors: series and compound wound.		
		Internal combustion engines: multi-cylinder over 600 rev/min.			Internal combustion engines: single- and multi-cylinder under 600 rev/min.		
		Operational hours per day (h/d)			Operational hours per day (h/d)		
		< 10	10-16	> 16	< 10	10-16	> 16
Light	Agitators for liquids Blowers and exhausters - small Centrifugal pumps and compressors Fans up to 7.4 kW Light duty conveyors	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Normal	Belt conveyors for sand, grain, etc. Dough mixers Fans over 7.4 kW Generators Line shafts Laundry machinery Machine tools Punches, presses and shears Printing machinery Positive displacement rotary pumps Vibrating and revolving screens	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Heavy	Brick machinery Bucket elevators Reciprocating compressors Conveyors (drag-panscrew) Hammer mills Papermill beaters Reciprocating pumps Positive displacement blowers Pulverizers Sawmill and woodworking machinery Textile machinery	1,2	1,3	1,4 †	1,4	1,5	1,6
Extra-heavy	Crushers Mills (ball and rod) Heavy hoists Mills, calenders, etc. for the rubber and plastics industries	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Table 2. Increments for service factor "K_d"

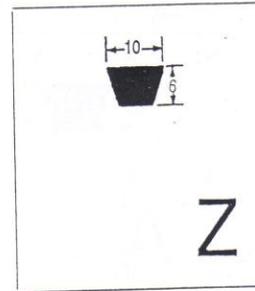
The classification of the nature of the load for the various duties set out above is given only as a guide and relates to normal operating conditions. The service factor may often have to be increased when the duty is affected by special factors such as:

Idler roller			
on slack side of belt (inside)	±0	Temperature	±0
on slack side of belt (outside)	+0,1	up to 60°C	+0,1
on tight side of belt (inside)	+0,1	60°C — 75°C	+0,1
on tight side of belt (outside)	+0,2	Speed-increasing ratios	+0,1
	+0,1	Humid conditions	
	+0,1	Water and liquids that do not damage rubber or laque	
sand, gravel, dirt		Alkalis — consult technical department	
		Acids — consult technical department	

Table 7. Section Z

Power per belt kW (Basic power)

Rev/min of small pulley	Pitch diameter of small pulley, d_p , mm										
	40	45	50	56	63	71	80	90	100	112 and over	
720	0,07	0,10	0,14	0,20	0,27	0,34	0,42	0,51	0,56	0,62	
960	0,10	0,15	0,21	0,28	0,36	0,43	0,52	0,62	0,74	0,81	
1440	0,12	0,20	0,27	0,38	0,47	0,60	0,68	0,87	1,02	1,10	
2880	0,17	0,31	0,45	0,63	0,80	1,00	1,24	1,50	1,71	1,93	
400	0,06	0,08	0,11	0,13	0,17	0,20	0,25	0,29	0,34	0,39	
800	0,09	0,14	0,18	0,23	0,30	0,36	0,44	0,53	0,61	0,71	
1200	0,12	0,19	0,25	0,32	0,42	0,51	0,62	0,75	0,86	1,00	
1600	0,13	0,22	0,30	0,40	0,56	0,64	0,78	0,94	1,09	1,26	
2000	0,15	0,25	0,35	0,47	0,62	0,76	0,93	1,12	1,30	1,50	
2400	0,16	0,28	0,40	0,54	0,71	0,87	1,07	1,28	1,48	1,72	
2800	0,16	0,31	0,44	0,60	0,78	0,98	1,20	1,43	1,65	1,91	
3200	0,17	0,32	0,47	0,65	0,86	1,07	1,31	1,56	1,80	2,06	
3600	0,17	0,34	0,50	0,69	0,93	1,15	1,41	1,67	1,92	2,18	
4000	0,16	0,35	0,53	0,73	0,98	1,22	1,49	1,76	2,01	2,27	
4400	0,15	0,36	0,55	0,77	1,03	1,28	1,56	1,83	2,08	2,32	
4800	0,15	0,37	0,56	0,79	1,07	1,33	1,61	1,88	2,11	2,32	
5200	0,13	0,37	0,57	0,82	1,10	1,36	1,64	1,90	2,11	2,31	
5600	0,12	0,36	0,57	0,83	1,12	1,38	1,65	1,90	2,07	2,21	
6000	0,10	0,35	0,57	0,83	1,13	1,39	1,65	1,86	2,02		
6400	0,07	0,34	0,57	0,84	1,12	1,40	1,64	1,83	1,91		
6800	0,05	0,31	0,56	0,83	1,10	1,37	1,59	1,73			
7200	0,02	0,29	0,54	0,81	1,08	1,33	1,51	1,60			
7600	0,01	0,26	0,51	0,78	1,04	1,26	1,41				
8000	0,05	0,23	0,48	0,74	0,98	1,19	1,28				



Belt speeds over 30 m/s.
The pulleys should be
dynamically balanced.

Additional power

Rev/min of small pulley	Additional power per belt kW for various transmission ratios									
	1.00-1.01	1.02-1.04	1.05-1.08	1.09-1.12	1.13-1.18	1.19-1.24	1.25-1.34	1.35-1.51	1.52-1.99	2.00 and over
720	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
960	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
1440	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07
2880	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13
400	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
800	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
1200	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06
1600	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07
2000	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,08	0,10
2400	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,07	0,09	0,10	0,11
2800	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13
3200	0,00	0,01	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15
3600	0,00	0,02	0,04	0,06	0,07	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17
4000	0,00	0,02	0,04	0,07	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,19
4400	0,00	0,02	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21
4800	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23
5200	0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25
5600	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
6000	0,00	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28
6400	0,00	0,04	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,24	0,27	0,31
6800	0,00	0,04	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,33
7200	0,00	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34
7600	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,37
8000	0,00	0,04	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,30	0,34	0,38

Table 8. Section Z

Belt lengths*, matching, installation tolerances and
belt length correction factors

Belt No	Standard pitch length mm	Installation tolerances		Correction factor for belt length K_1
		Below calculated centre distance	Above calculated centre distance	
15	405	15	15	0.87
16	430	15	15	0.88
18	475	15	15	0.89
20	530	15	15	0.91
22	580	15	20	0.93
24	625	15	20	0.94
25	655	15	20	0.96
26	700	15	20	0.97
28	735	20	25	0.98
30	780	20	25	0.99
32	840	20	25	1.00
33	855	20	25	1.01
35	920	20	25	1.02
36	935	20	30	1.03
38	995	20	30	1.04
41	1060	20	40	1.05
42	1080	20	40	1.06
51	1330	20	40	1.11
55	1420	20	40	1.13
60	1540	20	40	1.14
71	1825	20	40	1.17

* The table only includes standard lengths listed on page 6. Intermediate lengths can be interpolated.

Correction factors for arc of contact

$\frac{D_p - d_p}{a}$	β for small pulley	Correction factor for arc of contact (V-V. drive) K_2
0.00	180	1.00
0.05	177	0.99
0.10	174	0.99
0.15	171	0.98
0.20	169	0.97
0.25	166	0.97
0.30	163	0.96
0.35	160	0.95
0.40	157	0.94
0.45	154	0.93
0.50	151	0.93
0.55	148	0.92
0.60	145	0.91
0.65	142	0.90
0.70	139	0.89
0.75	136	0.88
0.80	133	0.87
0.85	130	0.86
0.90	127	0.85
0.95	123	0.83
1.00	120	0.82
1.05	117	0.81
1.10	113	0.80
1.15	110	0.78
1.20	106	0.77
1.25	103	0.75
1.30	99	0.73
1.35	95	0.72
1.40	91	0.70
1.45	87	0.68
1.50	83	0.65

Approximate determination of shaft and bearing load

1 Shaft loads T_s

$$P = \frac{100 \times K_d \times P_m}{V \times K_2}$$

$$P = T_1 - T_2 \quad T_1 = 1.25 \times P$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 5 \quad \begin{aligned} T_2 &= 0.25 \times P \\ T_s &= 1.50 \times P \end{aligned}$$

P = force kgf to transmit required power

K_d = service factor, Table 1 on page 10

K_2 = correction factor for arc of contact,

P_m = power transmitted in kW

v = belt speed m/s, see page 9

T_1 = force kgf in tight side of belt

T_2 = force kgf in slack side of belt

T_s = shaft load kgf

2. Bearing load T (kgf)

Bearing B

$$\frac{T_s \times (a+b)}{a}$$

Bearing A

$$\frac{T_s \times b}{a}$$

Bearing D

$$\frac{T_s \times c}{(c+d)}$$

Bearing C

$$\frac{T_s \times d}{(c+d)}$$

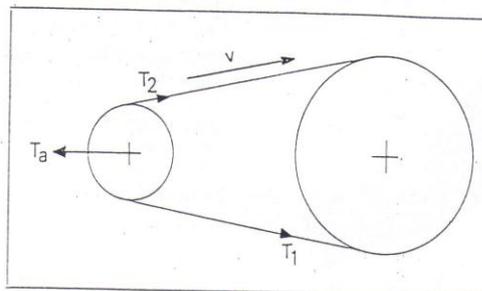


Fig. 13

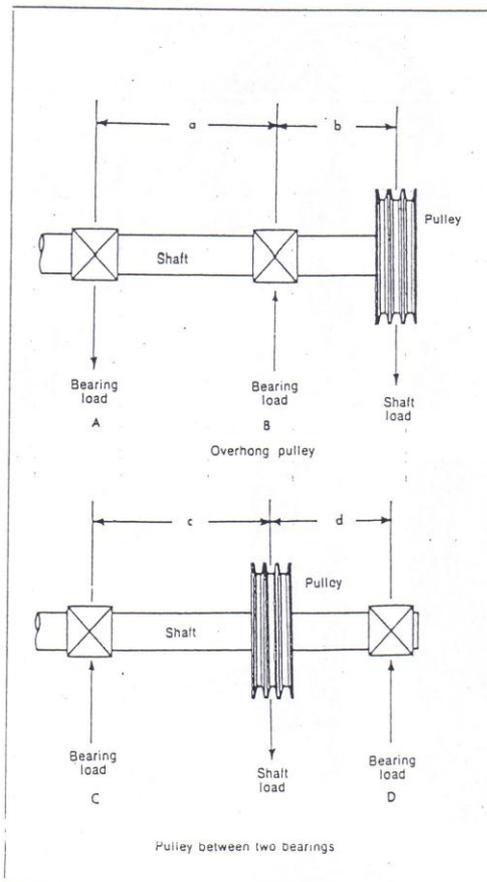


Fig 14.

1 Información del producto

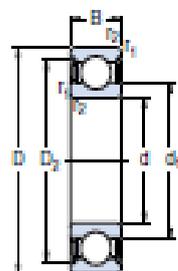
Página 3

2 Recomendaciones

Página 8

3 Datos del producto

Rodamiento rígidos de bolas
para temperaturas extremas
d 10 – 35 mm



2Z/VA228



2Z/VA208



VA201



2Z/VA201

Dimensiones principales		B	Capacidad de carga estática C_0	Juego interno rad/μl		Masa kg	Designación
d	D			mín	máx		
mm			N	μm			-
10	35	11	3 400	80	150	0,053	6300-2Z/VA201
12	32	10	3 100	100	180	0,037	6201/VA201
	32	10	3 100	100	180	0,037	6201-2Z/VA201
	32	10	3 100	100	180	0,037	6201-2Z/VA208
	32	10	3 100	100	180	0,037	6201-2Z/VA228
15	35	11	3 750	100	180	0,045	6202/VA201
	35	11	3 750	100	180	0,043	6202-2Z/VA208
	35	11	3 750	100	180	0,043	6202-2Z/VA228
17	35	10	3 250	100	180	0,039	6003/VA201
	40	12	4 750	100	180	0,065	6203/VA201
	40	12	4 750	100	180	0,060	6203-2Z/VA208
	40	12	4 750	100	180	0,060	6203-2Z/VA228
20	47	14	6 550	110	190	0,11	6204/VA201
	47	14	6 550	110	190	0,11	6204-2Z/VA201
	47	14	6 550	110	190	0,10	6204-2Z/VA208
	47	14	6 550	110	190	0,10	6204-2Z/VA228
25	52	15	7 800	110	190	0,13	6304/VA201
	52	15	7 800	110	190	0,13	6304-2Z/VA208
25	47	12	6 550	120	210	0,080	6005/VA201
	47	12	6 550	120	210	0,080	6005-2Z/VA208
	52	15	7 800	120	210	0,13	6205/VA201
	52	15	7 800	120	210	0,13	6205-2Z/VA201
	52	15	7 800	120	210	0,12	6205-2Z/VA208
	52	15	7 800	120	210	0,12	6205-2Z/VA228
30	62	17	11 600	120	210	0,23	6305/VA201
	62	16	11 200	120	210	0,20	6206/VA201
	62	16	11 200	120	210	0,20	6206-2Z/VA201
	62	16	11 200	120	210	0,19	6206-2Z/VA208
35	72	19	16 000	120	210	0,35	6306/VA201
	72	19	16 000	120	210	0,34	6306-2Z/VA208
35	72	17	15 300	160	255	0,29	6207/VA201
	72	17	15 300	160	255	0,28	6207-2Z/VA208
	72	17	15 300	160	255	0,28	6207-2Z/VA228
40	80	21	19 000	160	255	0,46	6307/VA201
	80	21	19 000	160	255	0,44	6307-2Z/VA208

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

1. Robert L.Mott, Diseño de elementos de Máquinas, segunda edición.
2. Joseph Shigley. Diseño de Elementos de Máquinas, sexta edición.
3. C. Naranjo. Procesos de manufactura, ESPE, Quito 1997.
4. Antonio Miravete, Materiales compuestos pág. 744, 745, 746
5. Código de dibujo técnico mecánico del INEN año 1989.

TESIS

1. 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. TESIS Ing. MECÁNICO ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHUMIDIFICADOR DE HOJUELAS DE PET PARA LA EXTRUSORA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES, ELABORADO POR MIGUEL MONTENEGRO Y JORGE VALVERDE. TESIS Ing. MECÁNICO ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
3. DISEÑO DE UNA MÁQUINA BOBINADORA DE HILOS PARA LA FÁBRICA “MONITEX”, ELABORADO POR LO SEÑORES ARIAS Y ORTIZ. TESIS ING. MECÁNICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESGASIFICADOR AL VACIO PARA LA EXTRUSORA DE PET POST CONSUMO DEL LMM. ELABORADO POR JEAN PIERRE FIGEROA BRAZZINI Y JHONNY RICARDO CUENCA VALENCIA. TESIS Ing. MECÁNICO ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.

DIRECCIONES DE INTERNET

1. http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0506/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm
2. http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_68363_HTML.html?idDocumento=68363
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Disenio_de_un_extrusor.png
4. <http://www.polimeroscompuestos.cl/Page/prfv.htm>