

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO. CAPACIDAD 2 Kg / día”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ROBERT ORLANDO PAREDES TUFÍÑO

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ.

CODIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI

Sangolquí, 2006 – 04 - 18

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO. CAPACIDAD 2 Kg / día” fue realizado en su totalidad por Robert Orlando Paredes Tufiño, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez.

DIRECTOR

Ing. Carlos Suntaxi

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006 - 04- 18

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“ ADECUACIÓN DE UNA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO E
INYECTORA DE PLÁSTICO PARA MOLER Y EXTRUIR TERMOPLÁSTICO.
CAPACIDAD 2 Kg / día”**

ELABORADO POR:

Robert Orlando Paredes Tufiño.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2006 – 04 - 18

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mis padres Orlando y Alba, quienes con su cariño y sacrificio apoyaron la consecución de este objetivo en mi vida.

A mis hermanas María, Gisel y Pamela, por estar siempre cuando las he necesitado y fortalecerme cuando me he sentido débil.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la FIME por todos los conocimientos brindados para mi formación profesional.

A mis compañeros, amigos y todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la finalización exitosa de la profesión.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
TABLAS	xii
FIGURAS	xiii
NOMENCLATURA	xvii
ANEXOS	xix
RESUMEN	xx
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del Problema	3
1.3 Objetivo General	4
1.4 Objetivos Específicos	4
1.5 Alcance del Proyecto	5
CAPÍTULO 2. PROCESOS DE MOLIENDA Y EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS.	
2.1 Proceso de Molienda	6
2.1.1 Descripción del Proceso de Molienda de Plásticos	7

2.1.1.1	Recolección de Plásticos Reciclables	7
2.1.1.2	Clasificación y Separación de Plásticos Reciclables	8
2.1.1.3	Molienda de plásticos	10
2.1.2	Determinación de los principales parámetros del proceso de la molienda de plásticos.	11
2.1.3	Análisis de máquinas que realizan el proceso de molienda de plásticos	12
2.1.3.1	Desmenuzadoras	12
2.1.3.2	Molinos Rotatorios	15
2.1.3.3	Cuchillas cortadoras rotatorias	15
2.1.3.4	Rebanadoras	17
2.1.3.5	Tornillo cortador	18
2.2	Proceso de extrusión	18
2.2.1	Descripción del proceso de extrusión de plásticos.	18
2.2.1.1	Extrusión de plásticos	18
2.2.1.2	Proceso y equipos de la extrusión de plásticos.	19
2.2.1.3	Defectos en la extrusión.	23
2.2.2	Determinación de los principales parámetros del proceso de extrusión de plásticos.	24
2.2.2.1	Flujo fundido en el extrusor	24
2.2.2.2	Características del extrusor y dado.	27
2.2.3	Análisis de máquinas y sistemas adicionales para la extrusión de plásticos.	29
2.2.3.1	Perfiles sólidos	30
2.2.3.2	Perfiles huecos.	31
2.2.3.3	Recubrimiento de alambres y cables.	32
2.2.3.4	Láminas y películas.	33
2.3	Análisis de Polímeros	35
2.3.1	Definición y clasificación de polímeros.	35
2.3.1.1	Definición de Polímeros	35
2.3.1.2	Clasificación de los Polímeros.	35
2.3.2	Análisis de los termoplásticos.	36
2.3.2.1	Ventajas y desventajas de los termoplásticos.	36

2.3.2.2	Forma de Obtención de los Polímeros	37
2.3.2.3	Propiedades y aplicaciones de los termoplásticos.	40
2.3.2.4	Reciclaje y Reuso de los Termoplásticos.	43

CAPÍTULO 3. ADECUACIÓN DE LA CORTADORA DE PLÁSTICO RÍGIDO.

3.1	Diagnóstico.	47
3.1.1	Análisis de elementos y sistemas de la cortadora.	47
3.1.1.1	Motor eléctrico.	47
3.1.1.2	Sistema de transmisión de potencia .	51
3.1.1.2.1	Banda.	51
3.1.1.2.2	Poleas.	52
3.1.1.2.3	Ejes	54
3.1.1.2.4	Chumaceras	55
3.1.1.3	Sistema de corte.	55
3.1.1.3.1	Rotor porta cuchillas.	56
3.1.1.3.2	Cuchillas Móviles	57
3.1.1.3.3	Cuchilla fija	57
3.1.1.3.4	Base de la Cuchilla Fija.	57
3.1.1.4	Sistema de Alimentación.	58
3.1.1.5	Sistema de Salida del Material.	59
3.1.1.5.1	Tamiz Metálico.	59
3.1.1.5.2	Embudo Metálico.	60
3.1.2	Análisis de funcionamiento de la máquina cortadora.	61
3.1.2.1	Cálculo de parámetros del sistema de transmisión potencia.	61
3.1.2.1.1	Desarrollo de Cálculos de Parámetros.	62
3.1.2.2	Pruebas de Funcionamiento Inicial.	68
3.1.2.2.1	Descripción de pruebas de funcionamiento inicial.	68
3.1.2.2.2	Análisis de las pruebas de funcionamiento inicial.	72
3.2	Análisis y selección de alternativas de modificación.	73
3.2.1	Establecimiento de alternativas.	73
3.2.1.1	Descripción de alternativas de modificación.	73
3.2.1.1.1	Primera Alternativa.	73

3.2.1.1.2	Segunda Alternativa.	76
3.2.1.1.3	Tercera Alternativa.	79
3.2.2	Análisis y selección.	82
3.2.2.1	Análisis de alternativas.	82
3.2.2.1.1	Parámetros de selección.	82
3.2.2.1.2	Descripción de Parámetros.	83
3.2.2.2	Selección de Alternativa.	85
3.2.2.2.1	Importancia de Parámetros.	85
3.2.2.2.2	Matriz para el Análisis del Valor.	86
3.2.2.2.3	Matriz de Decisión.	89
3.2.2.2.4	Selección de alternativa.	90
3.3	Adecuación de la cortadora de plástico rígido.	91
3.3.1	Análisis de elementos mecánicos a modificar o construir.	91
3.3.2	Diseño y construcción de nuevos elementos mecánicos.	93
3.3.2.1	Diseño de Elementos Mecánicos.	93
3.3.2.1.1	Diseño de cuchillas.	93
3.3.2.1.2	Diseño del Sistema de Alimentación	101
3.3.2.1.3	Protección de Banda.	102
3.3.2.2	Construcción de Elementos Mecánicos.	103
3.3.2.2.1	Análisis de Procesos.	103
3.3.2.2.2	Proceso de Construcción.	107

CAPÍTULO 4. ADECUACIÓN DE LA INYECTORA.

4.1	Determinación de parámetros de funcionamiento.	111
4.1.1	Descripción de los sistemas y parámetros de la inyectora.	112
4.1.1.1	Disposición de la inyección.	112
4.1.1.2	Sistema de Inyección.	113
4.1.1.3	Sistema de Cierre.	114
4.1.1.4	Sistema de accionamiento.	116
4.1.1.5	Cilindro Inyector.	117
4.1.1.6	Molde de Inyección.	119
4.1.1.7	Sistema de control eléctrico de temperatura.	121
4.2	Análisis y selección de alternativas de modificación.	124

4.2.1	Establecimiento de alternativas.	124
4.2.1.1	Descripción de las alternativas de modificación.	124
4.2.1.1.1	Primera alternativa.	124
4.2.1.1.2	Segunda alternativa.	125
4.2.1.1.3	Tercera alternativa	126
4.2.1.1.4	Adecuaciones adicionales.	126
4.2.2	Análisis y selección.	127
4.2.2.1	Análisis de alternativas.	127
4.2.2.1.1	Parámetros de selección.	127
4.2.2.1.2	Descripción de Parámetros.	128
4.2.2.2	Selección de Alternativa.	129
4.2.2.2.1	Importancia de Parámetros.	130
4.2.2.2.2	Matriz para el Análisis del Valor.	131
4.2.2.2.3	Matriz de Decisión.	132
4.2.2.2.4	Selección de alternativa	133
4.3	Diseñar y construir nuevos elementos o sistemas mecánicos	133
4.3.1	Diseño de nuevos elementos y sistemas.	133
4.3.1.1	Diseño del Sistema de Control de Temperatura.	133
4.3.1.1.1	Controlador de Temperatura.	133
4.3.1.1.2	Contactador.	136
4.3.1.1.3	Termocupla.	137
4.3.1.1.4	Conexión del sistema de control de temperatura	137
4.3.1.2	Protección del sistema de control de temperatura.	139
4.3.1.3	Matriz Adicional.	140
4.3.1.4	Bastidor.	141
4.3.2	Construcción de nuevos elementos.	154
4.3.2.1	Análisis de Procesos.	154
4.3.2.2	Proceso de Construcción.	157
 CAPITULO 5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.		
5.1	Planificación de las pruebas de funcionamiento.	161
5.1.1	Pruebas de funcionamiento de la cortadora.	161
5.1.1.1	Pruebas Constructivas.	161

5.1.1.2	Pruebas Operacionales.	161
5.1.1.3	Resultado y análisis de pruebas	162
5.1.2	Pruebas de funcionamiento de la inyectora.	164
5.1.2.1	Pruebas Constructivas.	164
5.1.2.2	Pruebas Operacionales.	164
5.1.2.3.	Resultado y análisis de pruebas.	169

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

6.1.	Análisis económico.	173
6.1.1	Costos directos.	173
6.1.1.1	Costos de Adecuación de la Cortadora.	173
6.1.1.1.1	Costos de Maquinado.	173
6.1.1.1.2	Costo de Materiales.	174
6.1.1.2	Costos de Adecuación de la Inyectora.	174
6.1.1.2.1	Costo de Maquinado.	174
6.1.1.2.2	Costo de Materiales.	175
6.1.1.3	Honorarios Profesionales.	175
6.1.2	Costos indirectos (misceláneos).	176
6.1.3	Costo total	176
6.2	Análisis financiero.	176
6.2.1	Cuadro de Resumen de Financiamiento.	176

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.	178
7.2	Recomendaciones.	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades de principales polímeros.	40
Tabla 2.2 Aplicaciones de termoplásticos	41
Tabla 2.3 Denominación, características y usos de plásticos reciclables.	43
Tabla 3.1. Especificaciones del motor eléctrico de la cortadora de plástico rígido.	49
Tabla 3.2. Parámetros de Selección.	83
Tabla 3.3. Matriz de Análisis de Valor	86
Tabla 3.4. Matriz de Decisión.	88
Tabla 3.5. Espesores de probetas.	94
Tabla 3.6. Áreas de probetas de ensayo para determinar el esfuerzo cortante.	96
Tabla 4.1 Especificaciones de resistencias.	119
Tabla 4.2. Parámetros de Selección.	127
Tabla 4.3. Matriz de Análisis de Valor	131
Tabla 4.4. Matriz de Decisión.	132
Tabla 4.5. Especificaciones del Controlador de Temperatura.	134
Tabla 4.6. Especificaciones del Contactor.	136
Tabla 5.1. Mezclas de termoplásticos utilizadas en elaboración de probetas.	165
Tabla 5.2. Temperatura determinadas para cada mezcla.	166
Tabla 5.3. Temperaturas de la matriz adicional.	168
Tabla 5.4. Dimensiones de probetas.	170
Tabla 5.5. Propiedades de termoplásticos.	170
Tabla 5.6. Propiedades observadas en probetas.	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Desmenuzadora de plástico industrial equipada de cuatro ejes equipados con discos cortantes y argollas distantes.	13
Figura 2.2 Principio de operación de las desmenuzadoras de cuatro ejes.	14
Figura 2.3 Tamiz que determina el tamaño del plástico molido.	14
Figura 2.4 Consumo específico de energía en función de la separación entre cuchillas.	16
Figura 2.5 Configuraciones de rotor para granuladoras	16
Figura 2.6 Diferentes tipos de configuraciones del rotor para granuladoras.	17
Figura 2.7 Componentes y características de un extrusor de tornillo simple.	19
Figura 2.8 Detalle de un tornillo extrusor dentro del cilindro.	21
Figura 2.9 Fractura de la fusión.	23
Figura 2.10 Defecto <i>piel de tiburón</i> y tallo de bambú.	24
Figura 2.11 Gradiente típico de presión en un extrusor.	26
Figura 2.12 Característica del extrusor y característica del dado.	28
Figura 2.13 a) Vista lateral de la sección de un dado de extrusión para formas sólidas regulares.	30
Figura 2.13 b) Vista frontal del dado con el perfil de la extrusión.	30
Figura 2.14 a) sección transversal del dado mostrando el perfil requerido para obtener.	31
Figura 2.14 b) un perfil cuadrado de extrusión.	31
Figura 2.15 Corte lateral de un dado de extrusión para formar secciones huecas.	32
Figura 2.16 Corte lateral de un dado para recubrir alambre.	32
Figura 2.17 Configuración para extrusión de láminas y películas.	33
Figura 2.18 Regulación de flujo a) matriz gancho de ropa.	34
Figura 2.18 Regulación de flujo, b) matriz con barra de estrangulamiento y ajuste de los bordes.	34
Figura 2.19 a) Uso de baño de enfriamiento rápido.	34

Figura 2.19 b) rodillos refrigerantes para solidificar la película después de la extrusión.	34
Figura 2.20 Estructura de enlace de una molécula de Etileno activada.	38
Figura 2.21. Reacción de polimerización de la hexametildiamina con el ácido adípico para producir una unidad de nylon 6.6.	40
Figura 3.1. Condiciones en las que se encontró el motor eléctrico.	48
Figura 3.2. Cables de motor eléctrico en mal estado	49
Figura 3.3. Conexión determinada para las fases y el neutro común del motor eléctrico.	50
Figura 3.4 Partes del sistema de transmisión.	51
Figura 3.5. Componentes de bandas tipo V.	52
Figura 3.6. Diseños de bandas tipo V, a) monocordón .	53
Figura 3.6. Diseños de bandas tipo V, b) multicordón.	53
Figura 3.7. Elementos del sistema de corte.	55
Figura 3.8. sección transversal del rotor.	56
Figura 3.9. Sistema de Alimentación de la cortadora. a) ventanilla para ingreso plástico	58
Figura 3.9. Sistema de Alimentación de la cortadora. b) ducto para conducir el plástico a las cuchillas.	58
Figura 3.10. Orificios y forma curva del tamiz metálico.	59
Figura 3.11. Embudo metálico	60
Figura 3.12. Adecuaciones realizadas en motor eléctrico; a) Cambio de cables de conexiones eléctricas.	69
Figura 3.12. Adecuaciones realizadas en motor eléctrico; b) instalación de interruptor trifásico.	69
Figura 3.13 . Tiras de plástico que ingresan a la máquina cortadora, para prueba de funcionamiento.	70
Figura 3.14 . Ingreso de material a la cortadora de plástico.	70
Figura 3.15 . Problema de interferencia entre cuchillas y plástico.	71
Figura 3.16. (a) Plástico golpeado por las cuchillas, no se corta.	72
Figura 3.16. (b) Pequeñísimas cantidades de plástico molido.	72
Figura 3.17. Efecto de tijeras para cortar papel.	73
Figura 3.18. Posición de cuchillas en el momento de contacto.	74

Figura 3.19. Ingreso de material termoplástico al sistema de corte.	75
Figura 3.20. Geometría de cuchilla fija.	76
Figura 3.21. Detalle de geometría de cuchilla fija.	77
Figura 3.22. Círculo como polígono de n lados.	77
Figura 3.23. Diseño de cuchilla fija.	78
Figura 3.24. Detalle de diseño cuchilla fija.	78
Figura 3.25. Ingreso de material al sistema de corte.	79
Figura 3.26. Cargas aplicadas entre apoyos para realizar corte.	80
Figura 3.27. Cuchillas dentadas traslapadas.	81
Figura 3.28. Diseño de cuchillas dentadas.	81
Figura 3.29. Ingreso de termoplástico a las cuchillas.	92
Figura 3.30. Matriz de la troqueladora.	93
Figura 3.31. Matriz colocada en máquina de ensayos universales.	94
Figura 3.32. Perímetro de matriz de troqueladora.	95
Figura 3.33. Tramo circular del cual se desea conocer el perímetro.	95
Figura 3.34 Dimensionamiento de Cuchilla Fija.	99
Figura 3.35. Sección transversal de cuchilla fija.	99
Figura 3.36. Configuración de cuchilla en punto de contacto.	100
Figura 3.37 Carcaza del Sistema de Alimentación.	101
Figura 3.38. Protección de banda y poleas.	102
Figura 4.1 Disposición horizontal de la inyectora.	112
Figura 4.2. Sistema de inyección por émbolo.	113
Figura 4.3. Sistema de cierre de la inyectora.	115
Figura 4.4. Sistema de accionamiento de la inyectora.	116
Figura 4.5. Resistencias del cilindro plastificador.	119
Figura 4.6. a) Molde Hembra	120
Figura 4.6. b) Molde Macho	120
Figura 4.7. Sistema de refrigeración del molde.	121
Figura 3.8 Esquema del sistema de control eléctrico.	121
Figura 4.9 Sistema de control de temperatura.	123
Figura 4.10. Parte Delantera del Controlador de Temperatura.	134
Figura 4.11. Tomas del Controlador de Temperatura.	135
Figura 4.12 Punto de conexión del Contactor.	136

Figura 4.13 Conexión del Sistema de Control de Temperatura	138
Figura 4.14. Distribución del sistema de control de temperatura.	139
Figura 4.15. Protección del sistema de control de temperatura.	140
Figura 4.16. Matriz Adicional.	141
Figura 4.17 Bastidor dibujado en 3 dimensiones en Autocad.	142
Figura 4.18. Presentación del software RISA 3D DEMO.	143
Figura 4.19. Ventana para importar archivo *.dxf.	143
Figura 4.20. Selección de unidades y eje axial vertical.	144
Figura 4.21. Descripción de los parámetro globales.	144
Figura 4.22. Selección de método de diseño que se utilizará.	145
Figura 4.23. Selección de perfil de estructura.	145
Figura 4.24. estructura con perfil seleccionado y rotado.	146
Figura 4.25. Ajuste de malla.	146
Figura 4.26. Especificación de tipos de cargas.	147
Figura 4.27. Ingreso de carga distribuida.	148
Figura 4.28. Cargas vivas.	149
Figura 4.29. Cargas vivas en juntas.	150
Figura 4.30. Combinación de Cargas	150
Figura 4.31. Tipo de solución.	151
Figura 4.32. Selección de vistas de solución.	151
Figura 4.33. Vista de solución.	152
Figura 4.34. Código de chequeo del diseño.	152
Figura 4.35. Gráficas de momento flector del miembro, fuerza cortante y deflexión de el miembro.	153
Figura 5.1. Material termoplástico cortado.	162
Figura 5.2. a) Corte de carpetas plásticas	163
Figura 5.2. b) Corte de galones.	163
Figura 5.3. Probetas de compresión.	167
Figura 5.4. matriz adicional con resistencias eléctricas	167
Figura 5.5. Medición de temperatura en matriz adicional.	168
Figura 5.6. Probetas para tracción (probetas alargadas).	169

NOMENCLATURA

PET	Polietileno Teraftalato
PVC	Policloruro de Vinilio
HDPE	Polietileno de Alta Densidad
LDPE	Politileno de Baja Densidad
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
EPS	Poliestireno Expandido
Q_x	Velocidad de flujo
P	Presión estática
K_s	Factor de forma del dado
D_d	Diámetro de la abertura del dado
η	Viscosidad de la fusión
L_d	Longitud de la abertura del dado
n_1	Velocidad angular de polea conductora
n_2	Velocidad angular de polea conducida
i	Relación de Transmisión
F_s	Factor de servicio
P_n	Potencia nominal
P_d	Potencia de diseño
V_b	Velocidad tangencial
D_{min}	Diámetro mínimo de polea conducida
D_{mayor}	Diámetro mayor de polea conducida.
D_{ma}	Diámetro estándar
C	Distancia entre centros
L_p	Longitud de paso de la banda.
T_s	Tolerancia superior
T_i	Tolerancia inferior
K_1	Factor de corrección de longitud
T	Torque
F_t	Fuerza Tangencial
P_o	Carga estática equivalente
P	Carga dinámica equivalente

WF	Factor de peso
RV	Valor relativo
PT	Perímetro total de probeta
Fe	Fuerza de corte de ensayo
Wm	Peso de Mordazas
V	Fuerza de corte
At	Área tangencial
τ_t	Esfuerzo Tangencial
P	Presión de inyección
Fc	Fuerza de cierre

ANEXOS

ANEXO A. Catálogo de bandas por INTERMEC..	180
ANEXO B Grafica esfuerzo – deformación ensayo de corte de termoplástico.	181
ANEXO C. Propiedades del material de cuchillas.	182
ANEXO D. Normalización de matrices.	183
ANEXO E. Especificaciones de controladores electrónicos de temperatura.	184
ANEXO F. Especificaciones de contactores eléctricos.	185
ANEXO G. Propiedades del material del bastidor.	186
ANEXO H. Carta de satisfacción	187

RESUMEN

Este proyecto forma parte del proyecto de investigación titulado “*Viabilidad técnica, ambiental y económica para la producción de madera plástica en el Distrito Metropolitano de Quito*”, a cargo de los docentes Dr. Alfonso Tierra (FIGMA, Facultad de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente), Ing. José Pérez (FIME, Facultad de Ingeniería Mecánica), Msc. Ricardo Lara (FIGMA), el cual fue aceptado por el CEINCI (Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE), que se inició el 15 de abril del 2005.

Para ello, se adecuó la máquina cortadora de plástico rígido, la cual fue adquirida en el laboratorio de máquinas y herramientas de la FIME, con el propósito de moler termoplástico, de botellas de agua recicladas (polietileno teraptalpto) y otros polímeros (HDPE, LDPE, PS, PP, EPS) obteniendo de este proceso hojuelas o escamas, útiles como materia prima para extruirse.

Además se adecuó una inyectora de plástico, máquina que fue diseñada y construida en calidad de proyecto de grado, por los señores Gustavo Méndez y Cristián Lemos, con la denominación de “*Diseño y construcción de un prototipo de inyectora de plástico para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE*”. A esta inyectora se la transformó en una extrusora, para obtener probetas de PET y otros polímeros; con hojuelas de estos materiales obtenidos de la máquina para moler termoplástico.

Estas probetas son motivo de análisis y estudio en el proyecto desarrollado por el CEINCI.