

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MOLDEO POR
TERMOPRESIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS,
CAPACIDAD 2700 cm³.**

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

REALIZADO POR:

FRANKLIN XAVIER MALDONADO ÁVILA

FABRICIO VEGA ESTRELLA

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI

Sangolquí, 2010-03-22

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MOLDEO POR TERMOPRESIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS, CAPACIDAD 270 cm³.**” fue realizado en su totalidad por Franklin Xavier Maldonado Ávila y Fabricio Vega Estrella, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Pérez

DIRECTOR

Ing. Carlos Suntaxi

CODIRECTOR

Sangolquí, 2010-03-09

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MOLDEO POR
TERMOPRESIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS, CAPACIDAD 2700 cm³.”**

ELABORADO POR:

Franklin Xavier Maldonado Ávila

Fabricio Vega Estrella

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Emilio Tumipamba

Sangolquí, 2010-03-22

DEDICATORIA

Con mucha gratitud a mis Padres Lourdes Y William que me han apoyado y soportado en todo momento, a mis hermanos César, Carlos y Fernando que son mis mejores amigos, personas sin las que no podría haber realizado este sueño, una familia envidiable.

Con mucho amor a Majo mi baby.

Franklin Maldonado Ávila

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por darme la oportunidad de vivir y la familia que poseo.
- A mis padres, por ser mi soporte, por el entregarme su amor y comprensión.
- A mis hermanos, César, Carlos y Fernando por el apoyo incondicional brindado.
- A Majo por su apoyo, amor y sinceridad.
- A Veguita, un amigo incondicional, por brindarme su amistad y apoyo.
- A la Universidad Escuela Politécnica de Ejército que me vio crecer y desarrollar mis conocimientos.
- A la Carrera de Ingeniería Mecánica por proporcionarme todas las herramientas necesarias para cumplir con mi sueño.
- Al director y codirector de tesis, José Pérez y Carlos Suntaxi.
- A mis amigos, con los que compartimos todos aquellos momentos inolvidables.
- A Chupe-Team, por todos esos triunfos inolvidables, medallas, trofeos, verdes, etc.

Franklin Maldonado Ávila.

DEDICATORIA

Mi esfuerzo dedicó a mi familia que ha sido mi soporte para formarme como persona de bien. A mi Padre Mario Vega Jurado por enseñarme a no darme por vencido por más duras que sean las lecciones que nos da la vida y a enfrentarlas con fortaleza....gracias padre, a doña Teresita Estrella por dar todo ella por nuestro bienestar...gracias madre, y a mi razón de ser, mi hermana Verónica Vega, por estar junto a mí cuidándome siempre...gracias precius.

Fabricio Vega Estrella

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado a esta maravillosa familia, que son base, mi apoyo incondicional siempre. A mis padres por darme la vida, a mi hermana por estar junto a mí dándome su apoyo para salir adelante.

A todas esas personas que estuvieron junto a mí y creyeron en mí en las buenas y las malas, Byron Tapia mi pana incondicional gracias por todos los consejos, a David Mejía Jujicsu, gracias por apoyarme en todo, siempre dándome una mano, a Ronix Vásquez gracias por la gran ayuda brindada en el transcurso de este proyecto cada vez que lo pedíamos muchas gracias, a Xavier Maldonado, el negro, por supuesto por ser un amigo y un compañero de tesis inigualable gracias, y a todo Chupe Team.

Oscar Gómez por haber estado en esos momentos más felices y difíciles gracias mi pana, a Carlos Huertas por estar siempre ahí pendiente de todo muchas gracias mijin, a Fercho Ulloa, a Danilo Palacios por esos momentos llenos de risas.

Al Ing. José Pérez y al Ing. Carlos Sntaxi por haber dirigido el presente proyecto, siempre atendiendo cualquier pregunta en el transcurso del mismo y a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO por haber formado como profesional.

Fabricio Vega Estrella

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL.....	viii
FIGURAS	xv
ANEXOS	xxiii
RESUMEN	xxiv
INTRODUCCIÓN	xxvi
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5. ALCANCE.....	5
CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1. MARCO TEORICO.....	7
2.1.1. POLÍMEROS.....	7
2.1.2. PRODUCCIÓN.....	7
2.1.3. CARACTERÍSTICAS.....	8
2.1.4. TIPOS Y APLICACIONES	11
2.1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS DE ACUERDO A SU GRADO DE RECICLADO.....	19
2.1.6. DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS.....	20
2.1.7. MOLIDO DE POLÍMEROS.....	21
2.1.8. IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LOS DESECHOS PLÁSTICOS.....	26

2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	28
2.2.1. FUNDAMENTOS DE LA FUSIÓN DE PLÁSTICO.....	28
2.2.2. FUNDAMENTOS DEL MOLDEO DE PLÁSTICO.....	29
2.2.3. CALOR Y TEMPERATURA.....	29
2.2.4. ENERGÍA.....	30
2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS.....	30
2.2.6. ASPECTOS FAVORABLES.....	33
2.2.7. ASPECTOS DESFAVORABLES	33
2.2.8. UTILIZACIÓN DE LOS PLÁSTICOS COMO ELEMENTOS MECÁNICOS.....	33
2.2.9. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMOFÍSICOS DE LOS PLÁSTICOS.....	34
2.2.10. TERMOPRESIÓN.....	37
2.2.11. PROCESO DEL MOLDEO DE PLÁSTICO.....	42
2.3. MARCO CONTEXTUAL.....	49
2.3.1. TIPOS DE DESECHOS.....	49
2.3.2. DIFICULTADES.....	49
2.3.3. APLICACIONES.....	50
 CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	 51
3.1. RESTRICCIONES DE DISEÑO.....	51
3.2. MATRIZ DE SELECCIÓN.....	52
3.3. VARIABLES DE DISEÑO.....	54
3.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	55
 CAPÍTULO 4: DISEÑO.....	 57
4.1. DISEÑO TÉRMICO.....	57
4.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	57
4.1.2. DISEÑO TÉRMICO DEL MOLDE.....	85
4.1.3. ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	91
4.1.4. CALOR DE FUSIÓN.....	93
4.1.5. CALOR PERDIDO TOTAL.....	95

4.2. MECÁNICO Y ESTRUCTURAL.....	112
4.2.1. ESPECIFICACIONES DE CARGA.....	112
4.2.2. DISEÑO MECÁNICO DEL MOLDE.....	115
4.2.3. SOPORTES ESTRUCTURALES.....	121
4.2.4. CONEXIONES SOLDADAS Y EMPERNADAS.....	122
4.2.5. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	123
CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	125
5.1 DIAGRAMA DE PROCESO.....	125
5.1.1. PASOS DE FABRICACIÓN DE LOS SOPORTES DE LA MATRIZ.....	125
5.1.2. PASOS DE FABRICACIÓN DEL MÓDULO MÓVIL.....	126
5.1.3. PROCESO PARA MANIPULAR EL AISLANTE TÉRMICO.....	127
5.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUBIERTA INFERIOR.....	128
5.1.5. PASOS DE FABRICACIÓN DEL MOLDE Y PLACA SUPERIOR.....	129
5.1.6. PASOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y REGULADOR DE TEMPERATU.....	130
5.1.7 PASOS PARA ADAPTAR COMPLEMENTOS A LA PRENSA HIDRÁULICA.....	131
5.1.8 PASOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PRENSA.....	132
5.2 PLANOS DE FABRICACIÓN.....	132
5.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	133
5.3.1. EQUIPOS.....	133
5.3.2. HERRAMIENTAS.....	134
5.3.3. INSTRUMENTOS.....	135
5.4 MANO DE OBRA.....	135
5.5 MATERIALES.....	136
CAPÍTULO 6: PRUEBAS.....	139
6.1. PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	139
6.1.1. PROCEDIMIENTO.....	139
6.1.2. DATOS INICIALES DE PRESIÓN.....	141

6.1.3. CONTROL DE TEMPERATURA DE FUSIÓN.....	141
6.1.4. ESTUDIO COMPARATIVO.....	142
6.1.5. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	143
6.1.6. ANÁLISIS DE DATOS.....	143
6.2. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	144
6.2.1. PROCEDIMIENTO.....	144
6.2.2. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	152
6.2.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	176
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	187
7.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	187
7.2. ANÁLISIS FINANCIERO.....	193
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	195
8.1. CONCLUSIONES.....	195
8.2. RECOMENDACIONES.....	197
BIBLIOGRAFÍA.....	285

TABLAS

CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA

2.1 Características del PET.....	9
2.2 Características del HDPE.....	10
2.3 Simbología de los Termoplásticos	20
2.4 Propiedades Térmicas del PET.....	36

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.1 Matriz de selección de alternativas.....	53
3.2 Matriz de decisión.....	53

CAPÍTULO 4: DISEÑO

4.1 Datos preliminares obtenidos.....	59
4.2 Características del primer grupo de pruebas.....	60
4.3 Datos obtenidos del primer grupo de pruebas.....	61
4.4 Resultados del primer grupo de pruebas.....	74
4.5 Masa aproximada fundida del primer grupo de pruebas	75
4.6 Densidad promedio de PET prensado con 10 TON.....	80
4.7 Densidad promedio de PET molido	82
4.8 Espesores comerciales de Fibra Cerámica	89
4.9 Contracción lineal y conductividad térmica de aislante	89
4.10 Composición Química.....	90

CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 Datos referentes a mano de obra utilizada.....	135
5.2 Listado de materiales utilizados.....	136

CAPÍTULO 6: PRUEBAS

6.1 Datos de Presión.....	141
6.2 Pruebas de Temperatura y Control.....	142
6.3 Presión y Fuerza alcanzada.....	143
6.4 Mezclas.....	152

FLEXIÓN

6.5 Datos Mezcla 2: Probeta 1.....	152
6.6 Datos Mezcla 3: Probeta 2.....	155
6.7 Datos Mezcla 4: Probeta 1.....	156
6.8 Datos Mezcla 5: Probeta 2.....	157
6.9 Datos Mezcla 6: Probeta 2.....	158
6.10 Datos Mezcla 7: Probeta 4.....	159
6.11 Datos Mezcla 8: Probeta 2.....	160
6.12 Datos Mezcla 9: Probeta 2.....	161
6.13 Datos Mezcla 10: Probeta 4.....	162
6.14 Datos Mezcla 100% PET: Probeta 2.....	163
6.15 Datos Mezcla 100% HDPE.....	164

COMPRESIÓN

6.16 Datos Mezcla 1: Probeta 1.....	165
6.17 Datos Mezcla 2: Probeta 1.....	167
6.18 Datos Mezcla 3: Probeta 1.....	168
6.19 Datos Mezcla 4: Probeta 1.....	169
6.20 Datos Mezcla 5: Probeta 1.....	170
6.21 Datos Mezcla 6: Probeta 1.....	171
6.22 Datos Mezcla 7: Probeta 1.....	172
6.23 Datos Mezcla 8: Probeta 1.....	173
6.24 Datos Mezcla 9: Probeta 1.....	174
6.25 Datos Mezcla 10: Probeta 1.....	175
6.26 Módulos y Esfuerzos a Flexión.....	176
6.27 Deformación a Flexión.....	176
6.28 Módulos y Esfuerzos a Compresión.....	179
6.29 Deformación a Compresión.....	180

6.30 Características de las placas obtenidas.....	183
6.31 Comparación Esfuerzos Flexión-Compresión.....	183
6.32 Esfuerzos de distintos tipos de maderas.....	184
6.33 Esfuerzos de tableros de madera procesados.....	184

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 Costos Directos.....	188
7.2 Costo Mano de Obra Indirecta.....	190
7.3 Costo Materia Prima Indirecta.....	190
7.4 Costo de Producción.....	191
7.5 Depreciación del Equipo.....	192
7.6 Precios comerciales de principales tableros de madera.....	194
7.7 Precios de placas de plástico de espesores similares.....	194

FIGURAS

CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA

2.1 Traslado de Material.....	21
2.2 Molino.....	22
2.3 Máquina Centrifugadora.....	23
2.4 Depósitos.....	23
2.5 Ciclón separador de impurezas.....	24
2.6 Diagrama de DSC.....	34
2.7 Gráfico al inicio de la prueba	35
2.8 Transferencia de Calor por Convección.....	39
2.9 Pérdidas de calor por Radiación.....	41
2.10 Esquema del Proceso.....	42
2.11 Funcionamiento Termocupla Tipo J.....	48
2.12 Controladores Digitales de Temperatura	48

CAPÍTULO 4: DISEÑO

4.1 Esquema del Sistema usado para la obtención de parámetros de diseño..	58
4.2 Pérdidas de energía con el ambiente.....	76
4.3 Aumento de las pérdidas de energía.....	77
4.4 Disposición de las resistencias y aislante	78
4.5 Medidas de placa de PET compactado.....	81
4.6 Alto del molde (medidas en mm).....	83
4.7 K vs. Temperatura.....	90
4.8 Área de Conducción.....	91
4.9 Área de Convección y Radiación.....	91
4.11 Área Vertical de Convección y Radiación.....	92
4.12 Esquema de la pérdida de calor en las superficies horizontales.....	102
4.13 Esquema de la pérdida de calor en las superficies verticales.....	102
4.14 Esquema de balance de energía.....	108
4.15 Esquema de balance de energía.....	109
4.16 Estructura de la Termoprensa de plástico reciclado.....	112

4.17	Verificación de diseño en el cilindro hidráulico.....	113
4.18	Matriz.....	115
4.19	Temperatura aplicada sobre la placa inferior.....	116
4.20	Presión aplicada sobre la matriz	116
4.21	Restricciones aplicadas en la matriz.....	117
4.22	Temperatura-Presión-Restricciones y Gravedad en la Matriz.....	117
4.23	Verificación de Diseño de la Matriz.....	118
4.24	Presión aplicada sobre la placa superior.....	118
4.25	Temperatura aplicada sobre la placa superior	119
4.26	Restricciones en la placa superior.....	119
4.27	Presión-Temperatura - Restricciones en la placa superior.....	120
4.28	Verificación de diseño de la placa superior.....	120
4.29	Verificación del diseño de la estructura metálica.....	122
4.30	Verificación del diseño de la soldadura en el armazón superior.....	122
4.31	Verificación de diseño en juntas empernadas.....	123
4.32	Propiedades del Acero ASTM A36.....	123

CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1.	Soportes del Molde.....	125
5.2.	Módulo Móvil.....	126
5.3.	Aislante Térmico.....	127
5.4.	Cubierta Inferior.....	128
5.5.	Molde y Placa Superior.....	129
5.6.	Mando Eléctrico.....	130
5.7.	Gata Hidráulica.....	131
5.8.	Prensa.....	132

CAPÍTULO 6: PRUEBAS

6.1	Colocación de la Mezcla.....	145
6.2	Caja de Control.....	145
6.3	Pre calentamiento de la Mezcla.....	147
6.4	Conjunto de Placas.....	149

6.5 Placa Mezcla 6.....	149
6.6 Placa Mezcla 2.....	149
6.7 Medidas de Probeta (mm).....	150
6.8 Probetas Mezcla 2.....	150
6.9 Ensayo de Flexión.....	151
6.10 Probetas de Compresión.....	151
6.11 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 2 Flexión	154
6.12 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 3 Flexión	155
6.13 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 4 Flexión	156
6.14 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 5 Flexión	157
6.15 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 6 Flexión	158
6.16 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 7 Flexión	159
6.17 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 8 Flexión	160
6.18 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 9 Flexión	161
6.19 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 10 Flexión.....	162
6.20 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 100% PET Flexión.....	163
6.21 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 100% HDPE Flexión.....	164
6.22 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 1 Compresión	165
6.23 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 2 Compresión	167
6.24 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 3 Compresión.....	168
6.25 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 4 Compresión.....	169
6.26 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 5 Compresión	170
6.27 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 6 Compresión.....	171
6.28 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 7 Compresión	172
6.29 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 8 Compresión	173
6.30 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 9 Compresión	174
6.31 Curva Esfuerzo- Deformación: Mezcla 10 Compresión	175
6.32 Comparación Módulo de Elasticidad: Flexión.....	177
6.33 Comparación Esfuerzo de fluencia: Flexión.....	177
6.34 Comparación Deformación Elástica Máxima: Flexión	178
6.35 Comparación Módulo de Elasticidad: Compresión.....	180

6.36 Comparación Esfuerzo de fluencia: Compresión.....	181
6.37 Comparación Deformación Elástica Máxima: Compresión.....	181
6.38 Comparación Esfuerzos Máximos.....	183
6.39 Comparación con tableros de madera: Flexión.....	184
6.40 Comparación con tableros de madera: Compresión.....	185

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 Depreciación del Equipo.....	193
----------------------------------	-----

NOMENCLATURA

Ac	Área de convección
Ar	Área de transferencia por radiación
a	variable usada para interpolación
ac2	Área de la base del cilindro B
am	Área de la base del molde
Ac	Área horizontal de convección y conducción
Acv	Área vertical de convección y conducción
As	Área de placa horizontal
At	Área de transferencia de calor del molde
Atr	Área transversal de probeta
σ	Constante de Stefan Boltzman
b	variable usada para interpolación
B	Coeficiente de expansión
cp	Calor específico
α	Difusividad térmica
di	diámetro interno
dex	diámetro externo
Di	Diámetro interno de cilindro A
D	Diámetro del sistema con resistencia de abrazadera
δ_{p70}	Densidad del material prensado
δ_p	Densidad promedio
δ_m	Densidad del PET molido a condiciones normales
δ_{p2}	Densidad promedio del PET molido
δ	Deflexión Elástica
δ_c	Deformación Elástica a la Compresión
ϵ	Emisividad del material: acero, aluminio
eais	Espesor del aislante
ϵ_{ais}	Emisividad del aislante
eres	Espesor de la resistencia eléctrica
ecil	Espesor de cilindro A
E	Módulo de Elasticidad

Ep	Potencia de la resistencia de abrazadera
em	Espesor de muestra
ex	Espesor de plástico obtenido en la prueba de presión al sistema de abrazadera
Fy	Carga de Flexión
Fc	Carga de Compresión
g	gravedad
hres	Altura de la resistencia eléctrica
H	Alto del molde necesario
h	Coeficiente de convección
hr	Coeficiente de transferencia de calor por radiación
hv	Coeficiente de convección para pared vertical
i	Evaluado en condiciones internas
Ix	Inercia en eje x
kpet	Coeficiente de conductividad térmica del PET
kais	Coeficiente de conductividad térmica del aislante
k	Conductividad térmica
Li	altura del cilindro expuesta al ambiente (interna)
la	Lado interno del molde
L	Longitud de placa (placas verticales)
Lv	Alto del plástico prensado
Lh	Longitud de placa (placas horizontales)
Lais	Espesor óptimo necesario calculado del aislamiento para evitar pérdidas
mex	Masa de PET utilizada
mplas	Masa de plástico PET
mfun	Masa fundida
mpet	Masa de PET necesaria para obtener 2700cm ³
mp	Masa de PET molido
Nu	Número de Nusselt
NuD	Número de Nusselt en el sistema con resistencia de abrazadera
NuLh	Número de Nusselt para pared horizontal
NuLv	Número de Nusselt para pared vertical
P	Potencia requerida de las resistencias para el proceso

Per	Perímetro de placa
Pr	Número de Prandtl
Φ_{in}	Diámetro interno cilindro B
Qcond	Flujo de calor por conducción
Q1conv	Flujo de calor perdido por convección de las paredes del cilindro
Q2conv	Flujo de calor total perdido por convección interna
Q1rad	Flujo de calor perdido por radiación de las paredes del cilindro
Q1	Flujo de calor total perdido al ambiente desde el exterior del sistema
Q2	Flujo de calor total perdido al ambiente desde el interior del sistema
Qconv1	Flujo de calor por convección interna
Qconv2	Flujo de calor por convección de área superior aislada
Qc1	Flujo de calor por convección en Tapa y Base del molde
Qc2	Flujo de calor por convección en paredes verticales del molde
Q2rad	Flujo de calor perdido por radiación interna
Qper	Flujo de calor total perdido hacia el ambiente del sistema de pruebas
Qf	Flujo de energía requerido hacia el plástico
Qfun1	Calor necesario para elevar el polímero hasta su punto de fusión
QTP	Flujo de calor total de diseño perdido al ambiente
Q	Calor
Qc	Flujo de calor por convección
Qr	Flujo de calor por radiación
R	Resistencia (ohmios)
RaD	Número de Rayleigh en el sistema con resistencia de abrazadera
rcr	Radio crítico de espesor de aislamiento
r2	Radio externo del sistema
r3	Radio considerando lámina de vidrio
Ra	Número de Rayleigh
RaLv	Número de Rayleigh para pared vertical
RaLh	Número de Rayleigh para pared horizontal
σ	Esfuerzo a la Flexión

σ_c	Esfuerzo a la Compresión
Text	Temperatura exterior del sistema
Tam	Temperatura ambiente
Tfun	Temperatura de fusión del PET
TS	Temperatura exterior del aislante
Tm	Temperatura media
Tbase	Temperatura en la base del sistema de abrazadera-aislante
Tpi	Temperatura de pared interna del cilindro
Tm2	Temperatura media del interior con el ambiente
tf1	Tiempo para elevar la temperatura de la pared de cilindro hasta Tfun
t1min	tf1 en minutos
tf2	Tiempo para elevar la masa de PET hasta Tfun
t2min	tf2 en minutos
tf3	Tiempo para fundir la masa de PET
t3min	tf3 en minutos
tf	Tiempo propuesto para elevar la temperatura del material
TR1	Temperatura de pared de resistencia
Tc	Temperatura de Cristalización
Tfun	Temperatura de Fusión
Tg	Temperatura de Transición Vítrea
To	Temperatura de reblandecimiento
Ti	Temperatura inicial
Tf	Temperatura final
Ts	Temperatura de la superficie
T α	Temperatura del fluido de los alrededores
V	Voltage
v	Viscosidad cinemática
vex	Volumen obtenido experimentalmente en el cilindro B
vp	Volumen prensado
Vc2	Volumen interior del cilindro B
vpet	Volumen necesario para colocar PET molido y obtener 2700cm ³

ANEXOS

ANEXO A: CARTA DE SATISFACCIÓN.....	201
ANEXO B: TABLAS DE PROPIEDADES TERMO – FÍSICAS.....	205
ANEXO C: PROPIEDADES AISLANTE TÉRMICO.....	211
ANEXO D: PLANOS DE FABRICACIÓN.....	215
ANEXO E: FOTOS PRUEBAS INICIALES.....	235
ANEXO F: FOTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y ELEMENTOS USADOS.....	239
ANEXO G: FOTOS DE FABRICACIÓN DE LAS PLACAS DE PLASTICO....	245
ANEXO H: FOTOS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS Y ENSAYOS.....	249
ANEXO I: DIAGRAMAS FUERZA vs. DEFORMACIÓN.....	255
ANEXO J: TABLAS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.....	267
ANEXO K: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	275

RESUMEN

En el proyecto ejecutado se diseñó y se construyó una máquina que permite fabricar una placa de plástico reciclado con un volumen de 2700cm^3 de diferentes tipos, los polímeros estudiados son HDPE y PET, con diferentes mezclas y porcentajes, por medio de un proceso de Termopresión, es decir calentando y compactando el material hasta obtener el volumen requerido. Posteriormente se realizó probetas para ensayos de flexión y compresión, obteniendo datos que evidenciaron el comportamiento mecánico de las mezclas realizadas. En la fabricación de las probetas se agregó también cascarilla de arroz, otro material reciclado, para el estudio de su comportamiento al ser mezclado con polímeros y sometido a pruebas de flexión y compresión.

El interés por el estudio de material plástico es debido a la gran cantidad de desperdicios de ese tipo que se generan en la ciudad, por ejemplo el PET que es el material de botellas de agua mineral, gaseosas, etiquetas, el HDPE material de envases de cloro, desinfectantes, fundas de basura y el PP que es usado en envases de shampoo, tapas de botellas, cubiertos y vasos desechables, etc. creando un grave problema de contaminación ambiental. Por lo que el proyecto se enfoca en experimentar con diversas mezclas de reciclado de estos materiales para obtener propiedades tales que permitan conocer la capacidad de estos materiales al ser mezclados, compactados y sometidos a pruebas. Dichos resultados ayudaran a estudiantes, profesionales, investigadores en general que deseen encontrar usos importantes a los desechos plásticos o aplicaciones como por ejemplo: cubiertas, pisos, tableros, etc., y así usar la gran fuente de recursos disponible que cada día sigue

creciendo. Por otro lado la máquina construida permite moldear plástico de diferentes tipos y hacer diferentes mezclas, ya que se tiene un gran número de combinaciones de polímeros que se pueden estudiar, por lo tanto servirá para el uso del personal de la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO en posteriores estudios sobre plásticos.

El diseño térmico del sistema se basó principalmente en pruebas preliminares con el uso de un sistema pequeño de resistencia de abrazadera. Se probó aislantes térmicos, lana de vidrio y la fibra cerámica, se observó el comportamiento de los plásticos a usar y se seleccionó el más crítico o el polímero con el más alto punto de fusión que es el que requeriría más cantidad de calor para fundirse correctamente (PET), y así calcular la cantidad de energía necesaria para el proceso.

El diseño mecánico fue realizado enteramente en SolidWorks, software que permite construir la máquina y simular los esfuerzos a la que va estar sometida durante el proceso de Termopresión, asegurando el excelente desempeño de la máquina al dar resultados de factor de seguridad y esfuerzos localizados con los que se puede constatar lo dicho anteriormente. Se simuló los esfuerzos en cada uno de los elementos y en todo el sistema funcionando con carga de compactación (10 TON). De igual manera se diseñó las juntas soldadas y empennadas de los elementos de la estructura obteniendo cierto factor de seguridad, verificando la fiabilidad de las uniones al ser sometidas a esfuerzos.

El uso de polietileno de alta densidad en una mezcla ayuda al aumento de la resistencia del material tanto a la flexión como a compresión. Dando propiedades aplicables a tableros, cubiertas, pisos, etc. La combinación de 45% de PET, 45% HDPE y 10% cascarilla de arroz da como resultado la mezcla con mejores propiedades tanto en su módulo de elasticidad como en su esfuerzo de fluencia.

INTRODUCCIÓN

El estudio realizado para la Termopresión de desechos plásticos plantea un diseño térmico para saber la cantidad de energía que necesita el proceso y un diseño mecánico para conocer los esfuerzos a los que va estar sometida la estructura, obteniendo un sistema que soporte las cargas requeridas para la compactación del plástico.

De esta manera construir una máquina que permita moldear plástico reciclado para su posterior estudio. Los polímeros a utilizar en las mezclas son los más usados por la población en general en objetos como envases, etiquetas, fundas, etc., es decir existe una gran cantidad de desechos de ese tipo, que por un lado afectan al medio ambiente, pero por otro se los puede utilizar en aplicaciones que pueden ser descubiertas.

La máquina construida es un prototipo para el Laboratorio de Mecánica de Materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), para dar un equipo que ayude a la experimentación de estudiantes e ingenieros dentro del campo de los plásticos.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Nuestro país tiene una población consumidora de productos con envases plásticos, como son: botellas y fundas. Estos objetos son desechados diariamente sin un control ambiental. Al no tener los consumidores conocimiento sobre el cuidado del medio ambiente, generando un grave problema de contaminación debido a que este tipo de material es por su composición, difícil de asimilarse de nuevo en la naturaleza ya que tienen un largo período de degradación que tarda aproximadamente unos 500 años.

La creación de un sistema para solucionar el problema contaminante relacionado con los desechos plásticos es de gran importancia para la comunidad ya que se tendría la opción de reciclar y dar valor a los residuos plásticos. La mayor parte de estos desechos son envases de Polietileno tereftalato PET, material que más ha incrementado su consumo en los últimos años, HDPE usado en envases de shampoo y aceites, y el PP usado para tapas. Todos estos tipos de plástico son desechados en la ciudad de Quito en

un 0,4% en peso, perteneciente al PET, de la totalidad de basura diaria¹ que es 1500 ton/día, corresponde a 6 ton/día. En las recicladoras de plástico post consumo del parque industrial de la ciudad de Quito se recicla HDPE, polietileno de alta densidad, polipropileno, PVC, policloruro de Vinilo, por otro lado el PET no es un plástico de fácil reciclaje, pero es una realidad viable, tanto técnica como medioambiental, generando un producto de valor que favorece a la disminución de residuos al ambiente.

Para este propósito el laboratorio de Mecánica de Materiales de la ESPE, dispone de una máquina de molienda para plásticos, que permite realizar una parte del proceso de reciclado. Con esto busca desarrollar un proceso de reciclado y mezcla del PET y HDPE capaz de generar un material con características tales que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones teniendo un material alternativo.

El reciclaje de los productos de plástico ha consistido básicamente en coleccionarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlos como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos.

Los residuos plásticos obtenidos son provenientes de la masa de residuos sólidos urbanos (RSU), en los cuales están: residuos simples; que han sido clasificados y separados entre sí y residuos mixtos; los que son combinados con otros materiales, como el cartón y el papel.

El análisis que se efectuará en el material obtenido servirá para hallar valores de propiedades mecánicas, temperatura de fusión, temperatura de enfriamiento, valores que estarán influenciados por variables como el calor y tiempo necesario para fundir a la mezcla, y presión generada para compactar al plástico.

¹Basura plástica amenaza al planeta: EL COMERCIO

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La utilización de plásticos en la vida diaria y en la industria es muy grande por lo que sus desechos irán en aumento de acuerdo a su producción la que también afecta al medio ambiente como proceso industrial. La cantidad de residuo plástico en el Distrito Metropolitano de Quito supera las 200 toneladas al día incrementando notablemente la contaminación de la ciudad.

La búsqueda de soluciones a este problema es de vital importancia para la ciudadanía por lo que se ha iniciado proceso de reciclaje de estos desechos para poder someterlos a diversos procesos para su reutilización.

Estos procesos en su mayor parte son costosos debido a que la mayoría de desechos plásticos son mezclas de diversos tipos de polímeros, lo que significa que para reciclarlos y obtener un material de buena calidad para su rehúso, se tiene que separarlos implicando un costo extra al proceso.

El campo de reciclaje debe ampliarse en favor de la conservación del medio ambiente, mitigando los efectos actuales, en el aprovechamiento de un posible recurso que va en aumento y en la reducción del uso de plásticos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un equipo de moldeo por Termopresión de desechos plásticos para la generación de un material alternativo, y su utilización como elemento funcional y estructural secundario.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica, técnica y experimental de las propiedades del polietileno tereftalato (PET) y el polietileno de alta densidad (HDPE).
- Diseñar y construir una matriz para moldeo de una placa de plástico de 2700 cm³.
- Determinar el comportamiento del material y obtener las propiedades mecánicas: módulo elástico, deflexión y esfuerzo de fluencia frente a cargas de flexión y compresión.
- Identificar la temperatura de fusión, tiempo de fusión, fuerza de compresión y cantidad de calor requerido.
- Establecer una fuente de información de propiedades de los plásticos mezclados, ayudando a identificar aplicaciones en diversos campos.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La cantidad de desechos plásticos es considerable en la ciudad de Quito en la cual se genera alrededor 1500 TON de desechos al día de las cuales se tiene datos que un 14% son de tipo plástico, es decir que se alcanza una elevada cantidad de 210 TON al día. Teniendo una gran fuente de material plástico que puede ser aprovechado de alguna forma por lo que el proyecto a desarrollar con fin primordial el uso de este recurso.

El reciclaje se realiza sobre ciertos tipos especiales de plásticos, aquéllos que les interesan a las empresas que producen plástico; el resto va a parar al botadero generando un grave daño al ambiente para lo cual, a nivel regional, no se ha desarrollado ningún proyecto relacionado con el reciclaje mecánico del PET, y HDPE; inclusive en el Centro de Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional

solo existen estudios relacionados con el reciclaje del PET pero ningún proyecto desarrollado hasta la actualidad donde se involucre la fusión de varios tipos de plásticos para obtener un material compuesto.

Debido a que los materiales como el PET no son biodegradables, la implementación de un proceso que permita su reciclaje es de vital importancia en nuestro medio para disminuir los niveles de contaminación ambiental. Por ejemplo en Argentina, de acuerdo con los datos de la Asociación Pro Reciclado del PET (Arpet), en el año 2002 se recuperaron 10.250 toneladas de ese material, un 1200 por ciento más que las 780 toneladas obtenidas en 1997.

Además, una vez reciclado, el PET constituye la materia prima para la elaboración de productos tales como textiles, alfombras, entre otros, mientras que el HDPE es utilizado en envases para aceites, shampoo y lácteos. El presente proyecto se centralizará en la formación de un nuevo material a partir de la fusión de los materiales plásticos anteriormente mencionados para su posterior análisis.

1.5. ALCANCE

El alcance de este proyecto consiste en el diseño de un sistema que permita moldear plástico molido reciclado para obtener placas con distintos tipos de plásticos en su composición. Posteriormente se realizarán pruebas de flexión y compresión con probetas de las muestras obtenidas, teniendo datos que permitan conocer las características mecánicas del material plástico obtenido por Termopresión y hallar la composición con las mejores resistencias a los esfuerzos sometidos.

CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. POLÍMEROS

Los plásticos principalmente están compuestos por macromoléculas orgánicas llamadas polímeros, estos son grandes agrupaciones de monómeros (molécula de pequeña masa molecular), unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Las moléculas que forman los plásticos pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nylon, esta unión adquiere plasticidad, pudiendo recibir una forma determinada capaz de ser colado, adoptando en las etapas posteriores un estado más o menos rígido.

2.1.2. PRODUCCIÓN

La primera parte de la producción de plásticos consiste en la elaboración de polímeros en la industria química. Parte de los plásticos terminados por la industria se usan directamente en forma de grano o resina. Frecuentemente, se utilizan varias formas de moldeo (por inyección, compresión, rotación, inflación, etc.) o la extrusión de perfiles o hilos.

2.1.3. CARACTERÍSTICAS

Pruebas simples muestran que los polímeros presentan características distintivas que permiten su utilización de forma específica, pero si se compara con el metal de inmediato se encontrarán algunas diferencias:

- Tienen resistencia mecánica y rigidez baja.
- Su uso frecuente está limitado por condiciones de temperatura.
- Las pruebas mecánicas, como tracción, demuestran que se deforman cuando se someten por un tiempo a una carga, es decir que sus propiedades dependen del tiempo, siendo esta característica mecánica la más significativa.

Estas características antes listadas representan desventaja en comparación con los metales, la madera, los materiales cerámicos, etc. Obviamente los polímeros poseen ventajas ya que en muchas áreas importantes han sustituido a materiales comunes, por lo que su demanda provoca una expansión rápida, en cuanto a sus ventajas podemos listar los siguientes:

- Se moldean fácilmente, lo cual permite la obtención de formas complejas con un mínimo de operaciones de fabricación y acabado.
- Su baja densidad da como resultado productos ligeros.
- Son resistentes a la corrosión y a los ataques químicos.
- Son aislantes eléctricos y térmicos.
- La flexibilidad natural de los polímeros los hace útiles, como en el caso de los cauchos.
- Adecuados para absorber impactos por las cualidades de elasticidad y amortiguamiento.
- Aunque los valores de la resistencia mecánica y módulo de elasticidad son bajos, los valores específicos por unidad de peso o volumen, son con frecuencia favorables, de aquí el uso de los polímeros en proyectos aeroespaciales.

En la actualidad estas propiedades están bien determinadas y un punto importante se da al conocer la variación de las mismas con el pasar del tiempo, generando un buen comportamiento y una larga vida de servicio. En la actualidad se realizan estudios para obtener polímeros de alta eficiencia como se da en el caso de nuestro proyecto al generar nuevas alternativas en materiales de ingeniería, que superan las características de los polímeros primitivos, presentando propiedades físicas superiores y mejor tolerancia a la temperatura. De esta manera el fácil moldeo, cualidades aislantes y resistencia a la corrosión hacen a los polímeros sumamente utilizables.

Nuestra tesis se basará de forma particular al estudio del Polietileno tereftalato (PET), y Polietileno de Alta Densidad (HDPE), a continuación se ilustran algunos datos técnicos de importancia:

Tabla 2.1 Características del PET

POLIETILENO TEREFTALATO : PET	
Propiedades Físicas	
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0.1
Absorción de Agua - Equilibrio (%)	<0,7
Densidad (g cm ⁻³)	1,3-1,4
Índice de Oxígeno Límite (%)	21
Índice Refractivo	1,58-1,64
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Buena
Propiedades Mecánicas	
Coeficiente de Fricción	0,2-0,4
Dureza - Rockwell	M94-101
Módulo de Tracción (GPa)	2 - 4
Relación de Poisson	0,37-0,44(oriented)
Resistencia a la Tracción (MPa)	80, para biax film 190-260
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	13-35

Continuación Tabla 2.1

Propiedades Térmicas	
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1200 - 1350
Coeficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	20-80
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,15-0,4
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (C)	115
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (C)	80
Temperatura Máxima de Utilización (C)	115-170
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-40 a -60
Resistencia Química	
Ácidos - concentrados	Buena-Mala
Ácidos - diluidos	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena-Aceptable
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Aceptable-Buena
Hidro-carbonos halógenos	Buena-Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Buena-Aceptable

Fuente: Información Técnica Goodfellow

Tabla 2.2 Características del HDPE

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD : HDPE	
Propiedades Físicas	
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	<0,01
Densidad (g cm ⁻³)	0.95
Índice de Oxígeno Límite (%)	17
Índice Refractivo	1.54
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala
Propiedades Mecánicas	
Coeficiente de Fricción	0.29
Dureza - Rockwell	D60-73 - Shore
Módulo de Tracción (GPa)	0,5-1,2
Relación de Poisson	0.46
Resistencia a la Tracción (MPa)	15-40
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	20-210

Continuación Tabla 2.3

Propiedades Térmicas	
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1900
Coeficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	100-200
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,45-0,52
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (C)	75
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (C)	46
Temperatura Máxima de Utilización (C)	55-120
Resistencia Química	
Ácidos - concentrados	Buena-Aceptable
Ácidos - diluidos	Buena
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena-Aceptable
Grasas y Aceites	Buena-Aceptable
Halógenos	Aceptable-Buena
Hidro-carbonos halógenos	Aceptable-Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable

Fuente: Información Técnica Goodfellow

2.1.4. TIPOS Y APLICACIONES

Es muy extensa la clasificación de los polímeros por lo que optaremos reducirla y mencionar de forma detallada la sección de nuestro interés:

2.1.4.1 Según su comportamiento frente al calor

Termoplásticos

Es un plástico el cual, a temperatura ambiente es plástico o deformable, se derrite a un líquido cuando es calentado y se endurece en un estado vítreo cuando es suficientemente enfriado. La mayoría de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los que poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (Polietileno); fuertes interacciones

dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno; o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno).

Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse éstos pueden recalentarse y formar otros objetos, ya que en el caso de los termoestables o termoduros, su forma después de enfriarse no cambia y este prefiere incendiarse.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces.

Los principales son:

– **PET:**

El Polietileno Tereftalato (PET) es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Terftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino. En general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia, resistencia química.

Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y, de mayor peso molecular, grado ingeniería.

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

- **Envase y Empaque**

Las firmas de maquinaria han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de manera rápida de los envases, por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros. Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias.

La participación del PET dentro de este mercado es en:

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

- **Electro-electrónico:**

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

- **Fibras**

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

Debido a su resistencia, el PET se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones, hilos de costura y refuerzo de llantas. Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia

química permite aplicarla en cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales.

– POLIETILENO

Antiguamente llamado "Polimetileno", el Polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las Poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con dobles enlaces). Son polímeros de alto peso molecular y poco reactivos debido a que están formados por hidrocarburos saturados. Sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados.

Los Polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad (de acuerdo al código ASTM) como:

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.

PEBD

Es un material traslúcido, inodoro, con un punto de fusión promedio de 110°C. Tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.) y como aislante (baja y alta tensión).

PELBD

Presenta una buena resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación o punción, buena resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación. Sus principales aplicaciones son como película encojible, película estirable, bolsas grandes para uso pesado, acolchado agrícola, etc.

PEAD

Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) que el PEBD y el PELBD, debido a su mayor densidad. Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos. Sus principales aplicaciones son en el sector de envase y empaque (bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, etc.), en la industria eléctrica (aislante para cable), en el sector automotriz (recipientes para aceite y gasolina, tubos y mangueras), artículos de cordelería, bandejas, botes para basura, cubetas, platos, redes para pesca, regaderas, tapicerías juguetes, etc.

HMW-HDPE

Presenta propiedades como buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (de -40 a 120°C), impermeabilidad al agua y no guarda olores. Sus principales aplicaciones son en película, bolsas, empaque para alimentos, tubería a presión, etc.

UHMWPE

Es un material altamente cristalino con una excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -200°C, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no absorbe agua, reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos, presenta resistencia a la fatiga y es muy resistente a la abrasión (aproximadamente 10 veces mayor que la del acero al carbón).

Tiene muy buena resistencia a medios agresivos, incluyendo a fuertes agentes oxidantes, a hidrocarburos aromáticos y halogenados, que disuelven a otros polietilenos de menor peso molecular. Sus principales aplicaciones son en partes y refacciones para maquinaria.

– POLIPROPILENO

El Polipropileno es un termoplástico que pertenece a la familia de las Poliolefinas y que se obtiene a partir de la polimerización del propileno, el cual es un gas incoloro en condiciones normales de temperatura y presión, que licúa a -48°C. También se conoce al propileno como "prope no".

Existen diferentes tipos de Polipropileno, los más usados son:

- Homopolímero
- Copolímero Impacto
- Copolímero Random

• Polipropileno Homopolímero

Presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas debajo de 80°C, pocos solventes orgánicos lo pueden disolver a temperatura ambiente. Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al

impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas debajo de 0°C se vuelve frágil y quebradizo.

El Polipropileno Homopolímero tiene las siguientes aplicaciones principalmente:

- Empaques flexibles para alimentos y vestuario
- Productos Médicos (jeringas, instrumentos de laboratorio, etc.).

- **Polipropileno Copolímero**

Presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo Homopolímero, su resistencia al impacto es mucho mayor y aumenta si se modifica con hule EPDM, incrementando también su resistencia a la tensión al igual que su elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el Homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas.

El Polipropileno Copolímero Impacto se utiliza en los siguientes sectores:

- Sector de Consumo (Tubos, perfiles, juguetes, recipientes para alimentos, cajas, hieleras, etc.)
- Automotriz (Acumuladores, tableros, etc.)
- Electrodomésticos (Cafeteras, carcazas, etc.)

- **Polipropileno Copolímero Random**

Las propiedades más sobresalientes del Copolímero Random son: el incremento en transparencia, flexibilidad y resistencia al impacto. Posee un índice de fluidez desde 1 g/10 min para soplado hasta 30g/10 min para inyección.

Sus principales aplicaciones son:

- Botellas (Vinagre, agua purificada, cosméticos, salsas, etc.)
- Película
- Consumo (Popotes, charolas, etc.)

PVC

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo.

Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del Polietileno.

Son diversas las aplicaciones del PVC, entre ellas se presentan algunas a continuación:

- Tubería, botellas (Aceites comestibles, shampoos y agua purificada), película y lámina, perfiles
- Recubrimiento de cable y alambre.

Termoestables

Los plásticos termoestables son materiales que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. Generalmente para su obtención se parte de un aldehído. Por ejemplo la baquelita, usada en aplicaciones electrónicas, siliconas, sirven para fabricar adhesivos y lubricantes.

2.1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS DE ACUERDO A SU GRADO DE RECICLADO

Los únicos plásticos que pueden ser objeto de reciclaje son los **termoplásticos**, ya que los termoestables no pueden volver a fundirse sin degradarse.

El reciclaje puede llevarse a cabo a partir de los residuos sólidos urbanos, aunque también hay que considerar los residuos de producción.

Los plásticos procedentes de residuos sólidos urbanos han de someterse previamente a un proceso de selección y de separación de otros residuos como materia orgánica, papel y materiales metálicos.

Los plásticos obtenidos por este procedimiento se emplean para fabricar objetos que no requieren grandes exigencias mecánicas como bolsa de basura, macetas, bidones, postes, tuberías, etc.

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son sólo seis, y se los identifica con un número dentro de un triángulo a los efectos de facilitar su clasificación para el reciclado, ya que las características diferentes de los plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado.

Existe un sistema de codificación que se muestra en la Tabla. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional  de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico.

Tabla 2.3 Simbología de los Termoplásticos

Nombre	Abreviatura (opcional)	Número de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	  PET PETE
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	 HDPE
Policloruro de vinilo o Vinilo	PVC o V	  V PVC
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	 LDPE
Polipropileno	PP	 PP
Poliestireno	PS	 PS
Otros	Otros	 OTHER

2.1.6. DEGRADACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Los materiales polímeros también experimentan deterioro mediante interacciones con el ambiente. Sin embargo, para referirse a estas interacciones no deseadas, se utiliza el término de degradación en vez de corrosión ya que los procesos son distintos. La degradación polimérica es físico-química, (implican fenómenos físicos y químicos), mientras que las reacciones de la corrosión metálica suelen ser electroquímicas. Además, en la degradación de los polímeros tienen lugar gran variedad de reacciones y consecuencias adversas.

El PET se ha utilizado particularmente en la fabricación de botellas para bebidas debido a sus características de bajo peso, gran resistencia, baja permeabilidad a los gases y, sobretodo, porque el PET no tiene efectos nocivos para la salud humana.

A pesar de las ventajas enunciadas anteriormente en cuanto al uso del PET, de manera paralela este material ocasiona problemas ambientales, toda vez que cuando las botellas de PET son desechadas ocupan un gran volumen y se degradan muy lentamente debido a que tienen una gran resistencia a los agentes atmosféricos y biológicos, por lo que ahora, se ha llegado a catalogar al PET como un agente contaminante. Las botellas de plástico son las más rebeldes a la hora de transformarse. Al aire libre pierden su tonicidad, se fragmentan y se dispersan. Enterradas, duran más. La mayoría está hecha de PET, material duro de degradar: los microorganismos no tienen mecanismos para atacarlos.

2.1.7. MOLIDO DE POLÍMEROS

El material es trasladado al molino a través de la cinta transportadora, la cual está equipada con un detector de metal.



Figura 2.1 Traslado de Material

FASE 1

El tamaño de la parrilla del molino es de 25 milímetros de diámetro, con ello se obtiene una partícula de entre 20-25 milímetros y se optimiza el lavado, ya que es más sencillo lavar una partícula de 20-25 que de 10, y por tanto las mermas que se generan son siempre muchísimo menores. Este proceso de molido, funciona con un sistema riegos de agua fría para humedecer las partículas y ayudar a la fase siguiente.



Figura 2.2 Molino

FASE 2

En esta fase se ha transportado el material a través de un sinfín, el cual es depositado en una máquina centrifugadora. La misión de ésta es quitar la mayor parte de suciedad (tierra, azúcares, líquidos...) y secar el material para ser transportado a través de un ventilador (transporte neumático) hasta un ciclón. Con ello se consigue separar el aire, la etiqueta suelta y polvo generado que salen por la boca superior y el material más pesado que es el PET cae por gravedad a la zona de lavado a alta temperatura.



Figura 2.3 Máquina Centrifugadora

FASE 3

En esta zona hay dos depósitos con una de capacidad de 400 Kg cada uno. El proceso el funcionamiento es el siguiente:



Figura 2.4 Depósitos

El material se va ubicando en el depósito número uno hasta su llenado que estará controlado por un by pass. Cuando dicho depósito este completo, comenzará a llenar él deposito número dos. En este momento el depósito número uno empezará lavar y a mover el material con agua mezclada con una solución química a una alta temperatura. El tiempo de estancia dependerá de la suciedad de la partícula.

El tiempo recomendado para una suciedad media es de 20 minutos aproximadamente, suficiente para la disolución de las colas, la separación de la etiqueta que queda pegada y la disolución de la suciedad. En ese momento empezaremos el vaciado, y pasamos a la fase siguiente un sinfín, que a la vez que lo transporta genera un frotamiento del material.

FASE 4

El sinfín deposita el material en una máquina centrifugadora, la cual tiene la misión de separar el polvo, la tierra o cualquier impureza que pueda aparecer así como la separación de las aguas de lavado consiguiendo secar las partículas a 1,5% de humedad. A continuación las partículas son trasladadas a través de un transporte neumático, que conduce el material hasta el ciclón. Este paso tiene la función de separar el polvo y la posible etiqueta del material por medio de aire. Con ello se consigue que el material pesado caiga por la fuerza de gravedad dentro del depósito de aclarado, el cual se encuentra en una constante agitación debido a movimiento del agua, como resultado las partículas descienden al punto más bajo, donde son recogidas a través de un transporte sinfín. Este sistema de aclarado como su nombre indica, es la última fase de limpieza. La única función que realiza es eliminar por completo las impurezas (restos de solución química).



Figura 2.5 Ciclón separador de impurezas

FASE 5

El transporte del material húmedo se realiza a través de un sinfín, el cual descarga el material sobre una superficie vibrante, cuya misión es separar las partículas para que caigan en forma de cascada hasta el depósito de separación. En dicho depósito se encuentran diversos rodillos que obligan al material que pudiese quedarse flotando a hundirse. Por tanto el polietileno (de tapones) flota y el PET se hunde. Una vez en el fondo del depósito, el PET es recogido por un sinfín que lo transporta directamente al lateral, donde hay una pequeña zona de almacenamiento que alimenta al sinfín de salida del PET. El sinfín deposita el material en una máquina centrifugadora, cuya misión es separar el aire y el polvo que pueda aparecer. Secando las partículas a menos del 1% de humedad. En la misma parte lateral superior, hay otro sinfín que cruza el depósito de lado a lado, que recibe las aguas con polietileno, este material es retirado directamente a una pequeña centrífuga, donde es secado hasta obtener una humedad residual menor del 1%. A continuación se traslada por medio de transporte neumático, a un ciclón de separación de aire y polvo. El material caerá por la fuerza de gravedad a su zona de almacenamiento "Big Bag", quedando este material apto para su reutilización.

FASE 6

El PET una vez secado se transporta a través de un ciclón que separa el aire y el polvo, y lo introduce dentro del molino con una parrilla de 10 mm para obtener una partícula de 8-10 milímetros. De nuevo el material será transportado por medio neumático a la zona de almacenamiento del material donde habrá un ciclón de separación de aire y polvo, que por la fuerza de gravedad hará caer el PET, en el cual tendremos un by pass que nos distribuirá el material al almacenamiento. Este material será apto para la fabricación de lámina, fibra o inyección.

2.1.8. IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LOS DESECHOS PLÁSTICOS

En nuestra ciudad la cantidad diaria que se genera de basura es 1500 toneladas y el 14% es de plástico. El elevado porcentaje de plásticos se debe al consumo de plásticos que ha experimentado un gran crecimiento debido a las innumerables aplicaciones que estos materiales tienen hoy en día. Por ejemplo Flexiplast entrega mensualmente a Supermaxi cerca de 200 toneladas de fundas lo cual significa un gran impacto ambiental. Por lo que la firma está entregando a sus clientes bolsas biodegradables que se convierten en material orgánico en 36 meses.

En lo referente a tiendas, farmacias, panaderías, almacenes según estudios técnicos el consumo de fundas plásticas es de 1 000 millones por año, significando una fuente de contaminación que debería tomarse en cuenta para iniciar campañas que reduzcan el uso de fundas contaminantes y aumente el uso de bolsas biodegradables.

La concientización en la población acerca del problema y como ayudar es importante para reducir la cantidad de desechos al ambiente.

Como nota importante hay que decir que en Europa occidental se recuperan más de la quinta parte de los plásticos usados, el 7% es reciclado y el 15% es procesado para recuperar su poder energético, son datos preocupantes y que se deben tomar en consideración en Latinoamérica y más directamente en el Ecuador, ya que no se han promulgado eventos con miras a un ahorro del recurso energético en este caso del petróleo. En la ciudad de Quito se calcula que solo el 4% aproximadamente de la cantidad de basura plástica es reciclada, el resto acaba a la intemperie, vertientes, rellenos, botaderos, etc.

Si partimos de la producción, el plástico necesita menos recursos energéticos que otros sectores. Actualmente en Europa Occidental solo el 4% del petróleo es usado para la elaboración de plásticos, mientras que el 86% se destina al transporte, calefacción y energía.

Por lo tanto en el caso de su producción no representa un problema referente al gran uso de energía no renovable. Por otro lado es un gran problema de impacto ambiental que ocurre cuando se eliminan los residuos. En este caso los plásticos pueden ser también recuperados para su reciclado, como ocurre con otros materiales. El problema se centra en que, bajo el nombre genérico de "plásticos" se encuentran numerosos tipos que, en ocasiones, no aceptan tratamientos homogéneos y exigen su segregación, con los costos consiguientes. Debido a la complejidad de su estructura, son más difíciles de reciclar que otros materiales.

La recuperación energética de los plásticos es una vía práctica, y muy utilizada en Europa, pero poco en nuestro país por la falta de infraestructuras de incineración de residuos. En este sentido hay que decir que aunque los plásticos constituyen solo el 7% de los residuos sólidos urbanos, producen el 50% de la energía recuperable, durante su combustión.

Los plásticos que segregamos selectivamente o aquellos que van al cubo de la basura y que tienen la suerte de ser procesados en centros de recuperación y reciclado, pueden ser reciclados, con las problemáticas antes enunciadas. Tras separar los diversos tipos y llegar a calidades homogéneas, el proceso de recuperación es sencillo. Esta solución teórica no está exenta de problemas, según el uso que haya tenido el material plástico. El usado en invernaderos puede llegar a tener niveles de suciedad que hagan inviable o no rentable estos procesos.

El principal problema para su reciclado, es la contaminación por otros residuos o materiales. Para poder someterlos al proceso de reciclado es necesario aplicar fuertes inversiones en tecnologías de lavado y separación, lo cual implica que el proceso sea costoso. Además, es necesario mencionar que hay determinados plásticos que por ser termoestables, necesitan de unos métodos químicos específicos que hacen incrementar aún más los costes. Por eso ante esta situación, y tras un análisis de eco-balance aplicado a las distintas opciones de gestión, está demostrado que el reciclado no es siempre la mejor opción.

Como siempre hay que tener alternativas para todo, también en este ámbito contamos con una opción no menos importante, que es la incineración con recuperación energética. Este sistema es también conocido como recuperación térmica y nos permite reducir considerablemente el volumen de residuos sólidos que van a vertederos, y recuperar el valor calorífico de los plásticos contenidos en los residuos, que equivalen a combustibles como el gas natural o el fuel-oil. En estos procesos debe prestarse una especial atención a los posibles riesgos de emisiones en la combustión que suelen asociarse a materiales con cloro en su composición, lo que ocurre en algunos materiales plásticos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. FUNDAMENTOS DE LA FUSIÓN DE PLÁSTICO

Los termoplásticos pueden adoptar un estado sólido termoelástico y termoplástico. El plástico sólido es apropiado para trabajos de cortes (limado, aserrado, fresado, torneado, taladrado y punzonado). Si se calienta el plástico sólido, en el intervalo de la temperatura de reblandecimiento o de congelación (símbolo ET), la resistencia disminuye repentinamente. El material pasa a un estado termoplástico semejante a la goma y se deforma fácilmente. En este intervalo se produce la conformación por plegado, estirado, embutición profunda y estampado. Mediante enfriamiento posterior por debajo de la temperatura de congelación, la adopta una forma estable. Si la pieza conformada que calienta de nuevo por encima del límite ET, entonces actúan en el material fuerzas residuales. Esto motiva que, por ejemplo un tubo adopte de nuevo la forma de la plancha anterior a la conformación.

Si se sigue calentando, el plástico pasa al intervalo de la temperatura de fluencia (símbolo FT), o sea al intervalo termoplástico (fluido). Por encima del límite FT tiene lugar la formación de brupos, como la colada, el prensado en caliente, la estampación, unión, por ejemplo soldadura.

Las piezas fabricadas en este intervalo tienen también forma estable en el intervalo termoelástico.

2.2.2. FUNDAMENTOS DEL MOLDEO DE PLÁSTICO

El moldeo de plásticos es una tarea difícil y se precisa una gran experiencia para resolver los problemas de producción, en un sector de la industria en la que la tecnología se encuentra en constante cambio. La capacidad del equipo de moldeo puede limitar la producción. Dichas limitaciones incluyen, por ejemplo la presión de la prensa disponible, la cantidad de material y el tamaño físico. La capacidad de las prensas de compresión puede variar entre menos de 5,5 y más de 1.653 toneladas de presión.

Las prensas de sujeción soportan de 2 a 15000 toneladas métricas. Habitualmente un equipo funciona al 75% de su capacidad y no al máximo.

La mayoría de las técnicas para materiales compuestos de molde abiertos se llevan a cabo manualmente. La colocación de chapas con herramientas especiales es lenta y, además el trabajo a mano supone el inconveniente de una posible incorrección en la orientación de la capa, oquedades inducidas por el tratamiento y/o porosidad. Una de las soluciones para reducir los costes de fabricación y garantizar una calidad de la pieza consiste en utilizar un equipo de laminado automático.

2.2.3. CALOR Y TEMPERATURA

Para fabricar una placa de plástico reciclado se necesita un sistema que brinde el calor necesario para elevar la temperatura del plástico, como ejemplo resistencias eléctricas. Con éstas se realizará un calentamiento previo del plástico de 15° a 30° por debajo de la temperatura de moldeo (reblandecimiento), sin que exista la aplicación de presión, simplemente cubriendo la zona superior del molde con la ayuda del pistón, que estará en un leve contacto con el plástico, esto permitirá una mayor fluidez del material y por ende una menor aplicación de presión.

A continuación se procederá a presionar el plástico hasta llegar a la medida adecuada, en este momento se elevará la temperatura hasta llegar a la temperatura de reblandecimiento del material. La temperatura máxima del proceso será 230 C tal que se funda el material y no se quemé.

Se debe recalcar que la temperatura de reblandecimiento es diferente para cada material, siendo el PET el material más crítico, para nuestro caso.

2.2.4. ENERGÍA

La transformación de la energía eléctrica en energía calórica se la hace por medio de una níquelina la misma que permite el paso de corriente por su serpentín emitiendo calor por toda su longitud. Este sistema de calentamiento de plástico es flexible porque puede tomar la forma que se desee y colocar donde se considere exista la mayor transferencia de calor hacia la mezcla de polímeros reciclados y tener una fusión correcta del material.

2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS

Comportamiento Térmico y Cristalización

Los polímeros poseen diferentes estructuras en su formación molecular dependiendo del material, ya que puede tener cadenas moleculares más o menos ordenadas. Esto se diferencia al tener dos tipos de polímeros que son:

Amorfos

Las cadenas moleculares no poseen ningún orden específico en su estructura a una temperatura menor a la de Transición vítrea (T_g), en este estado posee características como rigidez, fragilidad y transparencia, pero a una temperatura mayor a T_g las moléculas empiezan a ordenarse poco a poco, cambiando sus propiedades, pasando de polímero rígido a flexible y blando.

Con el fin de disminuir la temperatura de Transición vítrea se añaden químicos llamados Plastificantes Poliméricos, obteniendo un polímero más flexible, fácil de procesar y manipular según sea la necesidad.

Cristalinos

Este tipo de polímero posee un alto orden en su estructura molecular, dando mayor movilidad y flexibilidad a sus cadenas. Es importante decir que ningún polímero posee toda su estructura ordenada o desordenada al 100%, siempre existe una parte ordenada y desordenada, pero siempre predominará la mayoritaria.

Los plastificantes al incorporar a un polímero cristalino, reducen la cristalinidad y vuelve más flexible al polímero, obteniendo un reblandecimiento a menor temperatura.

En el caso del comportamiento térmico hay que distinguir entre las siguientes temperaturas, la de transición vítrea, la de cristalización, la de reblandecimiento y la de fusión.

Temperatura de transición vítrea (T_g).

Es la temperatura a la que un polímero fundido, sometido a enfriamiento, se convierte en un sólido frágil, rígido y vidrioso. Sus efectos son:

- Se presenta un cambio de propiedades asociado al cese virtual de movimiento molecular a escala local.
- Si la temperatura de reblandecimiento es mayor que la temperatura de transición vítrea, el polímero es suave.
- Si la temperatura de reblandecimiento es menor que la temperatura de transición vítrea, el material puede ser duro, quebradizo y amorfo.

Temperatura de Cristalización (T_c).

Cuando los polímeros alcanzan una temperatura mayor a T_g , van ganando energía permitiendo obtener un ordenamiento molecular, llamado cristalización, en el cual liberan calor, generando una reacción exotérmica. La temperatura de cristalización se alcanza al tener un mínimo de calor absorbido, luego de esto el polímero comienza nuevamente a absorber calor hasta estabilizarse. En este estado los polímeros son blandos y flexibles.

Temperatura de reblandecimiento (T_o).

Es la temperatura a la que el polímero alcanza un grado de ablandamiento específico, pasando de un estado rígido a un estado blando y flexible, iniciando su deformación térmica. Esta es una medida arbitraria para establecer la temperatura superior de servicio del polímero estudiado, varía dependiendo el polímero, en caso de ser amorfo esta temperatura es muy fluctuante debido al desorden de su estructura molecular, por el contrario si es un polímero cristalino la temperatura de reblandecimiento es mucho más definida.

Temperatura de Fusión (T_{fun}).

Al ganar más energía el polímero aumenta su temperatura, generando un desorden de los cristales poliméricos, separándose y moviéndose libremente, esto quiere decir que el material comienza a fundirse, absorbiendo calor sin aumento de temperatura alguno hasta que todos los cristales se fundan, dando lugar a una reacción endotérmica. Luego de esto aumentará la temperatura del material pero en menor grado

2.2.6. ASPECTOS FAVORABLES

Los procesos de utilización de plástico en la industria para diversas aplicaciones tienen sus ventajas como son:

- Pocos desperdicios.
- Costes de herramientas bajos
- El proceso puede ser automático o manual
- Las piezas son compactas
- El flujo de material es corto; menor posibilidad de causar deformación del producto y/o erosionar los moldes.

2.2.7. ASPECTOS DESFAVORABLES

El procesado de plástico también posee sus desventajas como son:

- Dificultad para moldear piezas complejas.
- Necesidad de ciclos de moldeo prolongado
- Imposibilidad de reprocesar piezas rechazadas
- Parte de las dimensiones de la pieza se controlan mediante la carga de material, no con herramientas
- Impacto ambiental

2.2.8. UTILIZACIÓN DE LOS PLÁSTICOS COMO ELEMENTOS MECÁNICOS.

Los plásticos como elementos netamente mecánicos no poseen gran campo de aplicación. Sin embargo existen aplicaciones como es la madera plástica la misma que es un producto fabricado a partir de mezclas de polímeros reciclados, la cual es ideal para diversos usos y aplicaciones, se considera como un producto atractivo para muchos proyectos debido a su costo, calidad adecuada y beneficios ambientales. Se ha definido este producto como un perfil extruido o prensado posee características similares a la madera natural, manteniendo su apariencia y mejorando las propiedades de resistencia a la

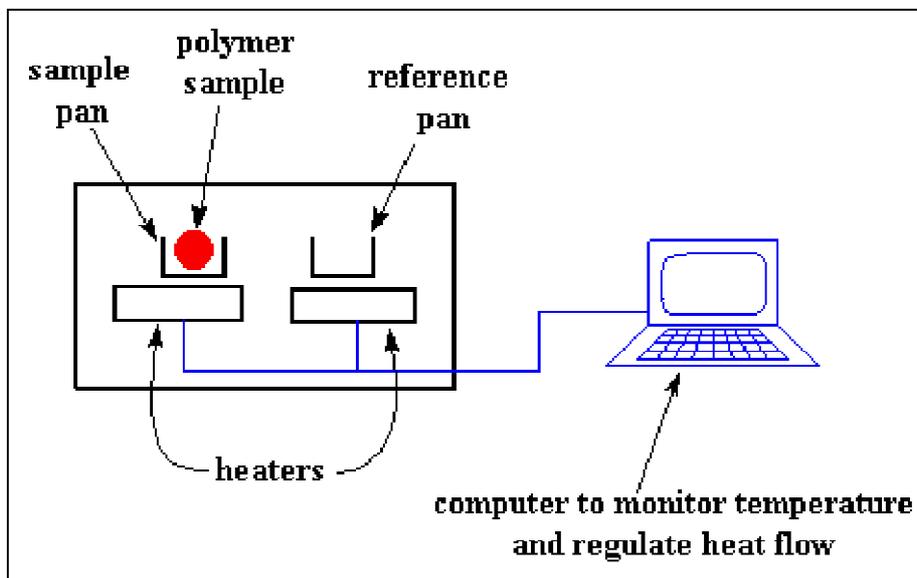
acción de los agentes climáticos, el uso de este producto se orienta a su aplicación en la construcción de perfiles para terrazas, barandas, balcones, cercos de antejardín, estibas, postes, etc.

La madera plástica manufacturada a base de plástico de alta densidad garantiza efectividad en el desarrollo de tareas rudas y resistencia a fuertes impactos, debido a su gran flexibilidad y facilidad de procesamiento.

2.2.9. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMOFÍSICOS DE LOS PLÁSTICOS

Caracterización del Comportamiento Calorimétrico

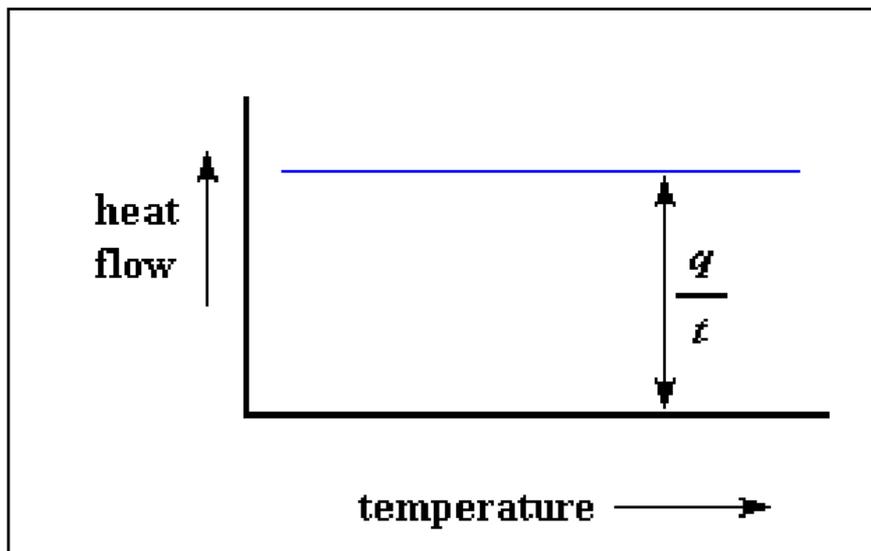
Para estudiar lo que ocurre cuando un polímero es calentado se utiliza una técnica llamada Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), la cual permite analizar las transiciones térmicas tanto de calentamiento como de enfriamiento, y la capacidad calorífica del material.



Fuente: Estudio de Mezclas y Copolímeros- Centre Catalá de Plastic

Figura 2.6 Diagrama de DSC

El sistema consta de un equipo DSC PERKIN ELMER Intracooler HP, el mismo que calienta o enfría el polímero. Cuando los dos calefactores son encendidos y se comienza a calentar el plástico la computadora registra la diferencia de producción de calor entre dos límites de temperatura establecidos, estos datos permiten graficar una curva Calor vs. Temperatura como se ve a continuación:



Fuente: Estudio de Mezclas y Copolímeros- Centre Catalá de Plastic

Figura 2.7 Gráfico al inicio de la prueba

Con los datos obtenidos de la cantidad de calor suministrada al polímero (q), dentro de cierto rango de temperatura (ΔT), se puede determinar la Capacidad Calorífica (C_p) del material estudiado con la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{q}{\Delta T} \quad (2.1)$$

Caracterización Óptica

Las propiedades ópticas de un material se las puede conocer al determinar la Transmitancia, el Índice de Amarillamiento, el Índice de Refracción y el Haze, con esto se puede verificar si el material tiene una buena transparencia.

Tabla 2.4 Propiedades Térmicas del PET

Propiedades térmicas	
Temperatura máxima de utilización en continuo (°C)	60
Temperatura reblandecimiento VICAT – (10N) (°C)	79
Temperatura reblandecimiento VICAT – (50N) (°C)	75
Temperatura reblandecimiento HDT A-1,8 MPa (°C)	69
Temperatura reblandecimiento HDT B-0,45 MPa (°C)	73
Coefficiente de expansión lineal (°C ⁻¹)	< 6.10 ⁻⁵
Calor específico (J.K ⁻¹ .kg ⁻¹)	1200 - 1350

Fuente: Estudio de Mezclas y Copolímeros- Centre Catalá de Plastic

Caracterización del Comportamiento Mecánico

Para conocer las características mecánicas de los polímeros se pueden realizar ensayos de tracción los cuales permiten determinar distintas variables como el módulo de Young, la resistencia a la fluencia σ_y y su deformación ϵ_y . Los ensayos de flexión a probetas permiten conocer la resistencia a la flexión, también el módulo de elasticidad del material a estudiar. Por otro lado los ensayos de resistencia al impacto muestra la tenacidad del polímero o mezcla de polímeros.

2.2.10. TERMOPRESIÓN

Generalidades

El proceso de Termopresión de plástico reciclado permite calentar el material hasta su punto de fusión o hasta cierto grado de temperatura dependiendo de la mezcla de polímeros termoplásticos que se desee analizar, para su posterior compactación y obtención de la muestra, todo esto en un mismo sistema. La fase de calentamiento del sistema, donde se entregará calor al material, se realizará mediante resistencias eléctricas debido a que pueden ser colocadas en las paredes, base del molde o en la prensa para obtener una eficiente conducción. La utilización de aislantes térmicos será de vital importancia para el proceso ya que se disminuirán al máximo las pérdidas de energía ayudando a elevar la temperatura del material en el menor tiempo posible.

En la fase de compactación se agregará plástico hasta obtener el espesor de placa requerido para las pruebas. La carga para prensar al plástico se puede lograr con ayuda de un sistema hidráulico adaptándolo a una estructura tal que permita presionar al material dentro del molde.

El proceso propuesto no posee un alto grado de complejidad a comparación de otros procesos de transformación de plástico como es la inyección, extrusión, soplado, etc. Por ende su construcción va a ser más económica ya que disminuirá notablemente factores como el uso de materiales, equipos y mano de obra, así como también su funcionamiento y mantenimiento van a ser más sencillos de ejecutar.

Variables Directas e Indirectas

Las variables que intervienen en el proceso de Termopresión, afectando directamente a la transformación del polímero son:

- **Calor:** energía entregada por las resistencias eléctricas.
- **Presión:** ejercida mediante una gata hidráulica para compactar al plástico
- **Temperatura de fusión:** temperatura a la cual va a llegar la mezcla a su estado líquido.
- **Tiempo de fusión:** tiempo en el cual todo el material se encuentra en su estado líquido.
- **Tipo de plástico:** dependiendo de los tipos de polímeros a utilizar los tiempos y temperaturas variarán.
- **Cantidad de plástico:** la masa de plástico influye en la cantidad de calor que se debe suministrar y el tiempo en que se lo debe hacer.
- **Aislante térmico:** la elección del aislante apropiado disminuirá las pérdidas con el ambiente, logrando un sistema más eficiente.
- **Materiales:** los elementos que constituirán el sistema serán diseñados para resistir los esfuerzos a los que va a ser sometido la estructura.
- **Pérdidas de Calor con el ambiente:** se van dar de las dos formas siguientes

- **Convección**

Se da entre una superficie y un flujo exterior (aire, agua) al existir una diferencia de temperaturas entre ellos. El fluido, que está más cerca de la superficie, al calentarse aumenta su volumen disminuyendo su densidad. Al ser más ligero que el fluido de los alrededores, se desplaza para luego ser reemplazado por el fluido a menor temperatura, logrando la transferencia de energía.

Convección Libre: es cuando el flujo se genera por la disminución de densidad del fluido debido al calentamiento del mismo.

El flujo de calor por convección viene dado por la Ley de Enfriamiento de Newton cuya expresión es la siguiente:

$$Q_{conv} = h \cdot A_c \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

Donde: h : coeficiente de convección (W/m².k)
 A_c : área de convección (m²)
 T_s : temperatura de la superficie C
 T_α : temperatura del fluido C

El coeficiente de convección depende de varias condiciones como la geometría y disposición de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, propiedades del fluido a determinada temperatura, entre otras variables que permitirán su cálculo a fin de obtener el flujo de energía hacia el fluido.

Calor por
Convección

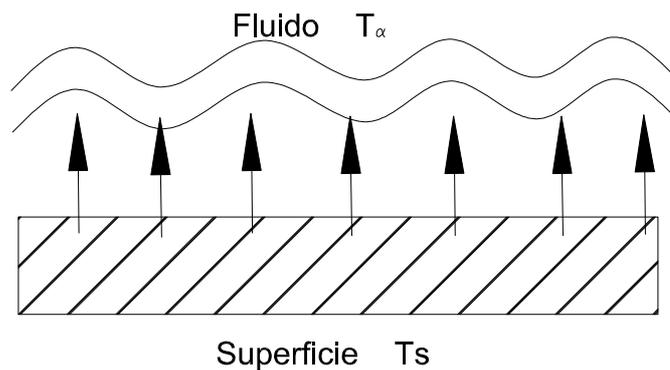


Figura 2.8 Transferencia de Calor por Convección

○ Radiación

Es la energía emitida por medio de ondas electromagnéticas, desde un cuerpo a determinada temperatura o del ambiente por fuentes como el sol hacia sus alrededores. Es decir un cuerpo puede emitir energía al ambiente, si su temperatura es mayor, y también absorberla del sol o de otros cuerpos con mayor temperatura.

Para el estudio de la radiación, los cuerpos se dividen en negros y grises. Los cuerpos negros son superficies ideales en los que la emisividad de energía es la máxima a cierta temperatura. En cambio los cuerpos grises son los que emiten una fracción de la energía emitida por un cuerpo negro.

La energía neta que sale de un cuerpo gris por radiación se la calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_r \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.3)$$

Donde:	ε : emisividad del material	(W/m ² .k)
	σ : constante de Stefan Boltzman	(5.67 X 10 ⁻⁸ W/m ² .k ⁴)
	A_r : área de radiación	(m ²)
	T_s : temperatura de la superficie	(C)
	T_a : temperatura de los alrededores o de otro cuerpo	(C)

, la anterior expresión proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana por la absorción de de radiación de los alrededores.

El grado de emisión de energía de un cuerpo se lo mide con la propiedad radiativa denominada **emisividad**. Esta depende del material de la superficie, por ejemplo para el aluminio el valor es de 0.07, mientras que para el acero es de 0.22, es decir con la utilización del aluminio se podrá disminuir la pérdida de calor a los alrededores por radiación.

Calor por Radiación

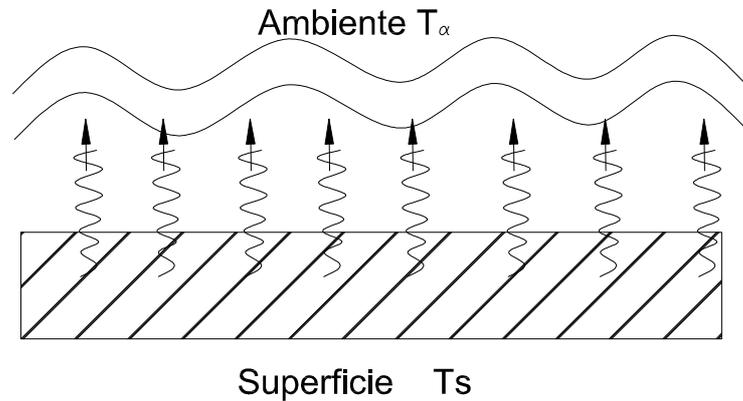


Figura 2.9 Pérdidas de calor por Radiación

- Como variable indirecta que interviene en el proceso se tiene el consumo de energía eléctrica, el mismo que se lo podrá disminuir al utilizar un voltaje 220v para el funcionamiento de las resistencias eléctricas.

Proceso

La termopresión permitirá compactar plástico molido calentándolo hasta su punto de fusión dentro de un molde y ejerciendo presión. Para esto se tendrán fases que son:

Fase de Calentamiento: se encienden las resistencias eléctricas y comienza la entrega de calor al material.

Fase de Presión: esta fase comienza cuando toda la masa de polímero se encuentra en una temperatura de moldeo, un poco antes del punto de fusión, esto depende del polímero más crítico que se este usando.

Se calienta el material hasta que todo se haya fundido y se obtenga el espesor deseado para el estudio de las muestras, siempre ejerciendo presión.

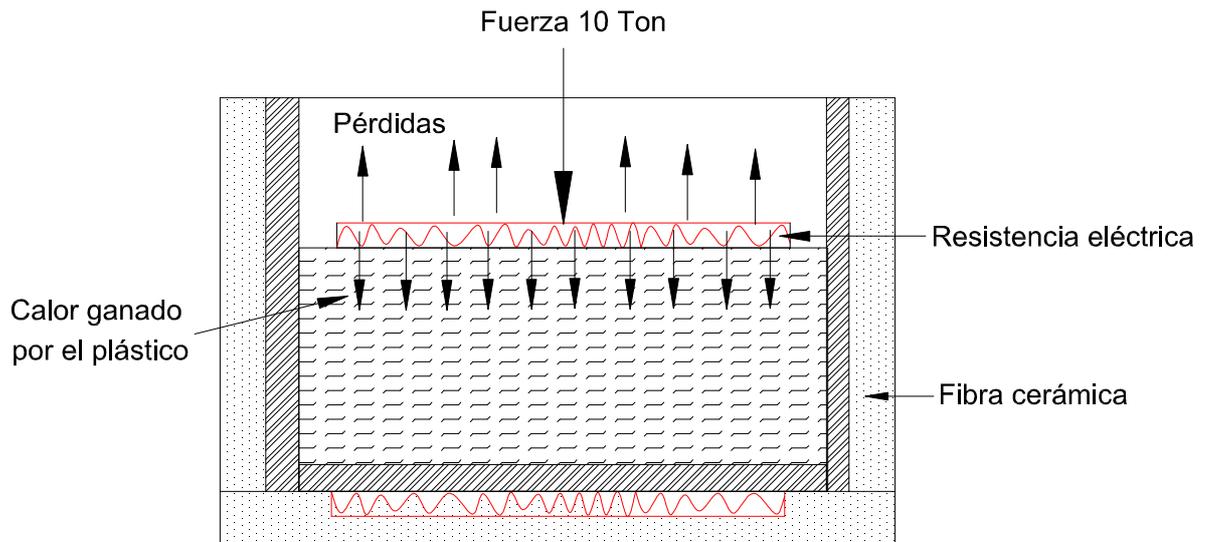


Figura 2.10 Esquema del Proceso

Fase de Enfriamiento y obtención de muestras: al llegar todo el material a temperatura ambiente se quitará la presión sobre el material y se desmoldará la muestra para la obtención de las probetas a ser estudiadas.

2.2.11. PROCESO DEL MOLDEO DE PLÁSTICO

2.2.11.1. Tipos

Inyección

Consiste en introducir el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro hay un tornillo sinfín que actúa de igual manera que el émbolo de una jeringuilla. Cuando el plástico se reblandece lo suficiente, el tornillo sinfín lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. El molde y el plástico inyectado se enfrían mediante unos canales interiores por los que circula agua. Por su economía y rapidez, el moldeo por inyección resulta muy indicado para la producción de grandes series de piezas. Por este procedimiento se fabrican carcasas, componentes del automóvil, etc.

Extrusión

Consiste en moldear productos de manera continua, ya que el material es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, lo que produce una tira de longitud indefinida. Cambiando la forma de la boquilla se pueden obtener barras de distintos perfiles. También se emplea este procedimiento para la fabricación de tuberías, inyectando aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal. Regulando la presión del aire se pueden conseguir tubos de distintos espesores.

Calandrado

Consiste en hacer pasar el material plástico a través de unos rodillos que producen, mediante presión, láminas de plástico flexibles de diferente espesor. Estas láminas se utilizan para fabricar hules, impermeables o planchas de plástico de poco grosor.

Compresión

El moldeo por compresión es un procedimiento para obligar al material plástico a adaptar su forma exterior a la de un molde, mediante la acción que ejerce sobre él el macho del molde, que actúa así como émbolo. Al dar la presión se supone que el calor reblandece el material favoreciendo su fluidez. Cuando se trata de materiales termoestables, la aplicación continuada de calor hace reaccionar y endurecer el material, de modo que se puede retirar al terminar el moldeo, sin enfriar el molde. En cambio para nuestro caso que usamos materiales termoplásticos, se debe enfriar, para que retenga su forma al retirarlos.

2.2.11.1. Características

El moldeo por compresión consta de varias etapas sucesivas, que se detallan a continuación:

- Se pone una carga medida del compuesto del moldeo molido en la parte inferior del molde (hembra).
- El molde se cierra lentamente hasta que el espesor de la placa sea el requerido.
- El molde se calienta, a través de resistencias, en este momento una pequeña porción del material empezará a fluir en forma de rebabas.
- Se mantiene cerrado el molde durante un tiempo determinado. Este período de tiempo dependerá del espesor de la pieza moldeada, tamaño global de la pieza y temperatura del molde.
- Después de que el molde haya estado cerrado durante el tiempo requerido, se abre y se expulsa la pieza, se lo realiza retirando la tapa inferior del molde y con la ayuda del mismo émbolo.
- El artículo es enviado al departamento de acabado, en donde tiene lugar las operaciones de desbarbado, pulido e inspección.

Presión de moldeo

En base a estudios realizados en la compactación de plásticos la fuerza recomendada es de 10 toneladas, la misma que se aplicará sobre un área de 900cm^2 para compactar el material. La presión que se genera sobre el plástico será aproximadamente $11,11\text{ kg/cm}^2$.

Esta presión se dará una vez realizado un previo calentamiento del molde con el plástico molido en su interior, a continuación se efectúa el cierre de la prensa con una presión hidráulica baja, seguida de una presión hidráulica alta.

Tiempo

El tiempo requerido será determinado por varios factores, que sumados darán como resultado el tiempo total para el procedimiento de moldeo.

Por el tipo de material, para ello se deberá alcanzar la temperatura de reblandecimiento en todos los puntos del material dentro del molde, este tiempo se determinará con la ayuda de una termocupla en las zonas más lejanas a la resistencia.

Energía

La masa de polímero requiere cierta cantidad de energía calorífica para elevar su temperatura hasta un punto tal que permita su moldeo. El calor necesario se lo puede generar por medio de resistencias eléctricas colocándolas de tal forma que se aproveche al máximo la energía entregada. La cantidad de energía se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = m c_p (T_f - T_i) \quad (2.4)$$

Q = Calor necesario para elevar la temperatura

m = masa de plástico

c_p = calor específico del polímero

T_i = temperatura inicial

T_f = temperatura final

Recomendaciones del moldeo por compresión

En la práctica el moldeo por compresión no resulta ser muy sencillo, se deben tomar en cuenta varios factores.

- En primer lugar la pieza que se desea moldear ha de estar bien proyectada, sin socavados, con una salida suficiente en los lados y otras características constructivas similares.

- La adecuada selección del molde, para ello se encuentran varios que incluyen entre ellos el positivo, semi positivo y rápido (de rebose).
- Determinar el ciclo del moldeo que sea el más sencillo, para nuestro caso será de modo simplificado, carga en el molde, cierre, flujo de calor, tiempo de reblandecimiento, enfriamiento y expulsión.
- Dar un respiro al molde, es aflojarlo ligeramente. Esto permite que el aire confinado y algunos gases atrapados puedan escapar, no existe un momento adecuado en el cual se permita respirar al molde, para nuestro caso se lo realizará en el momento anterior al cierre total del molde, lo cual lo determinaremos por tanteo.
- Es esencial usar la cantidad precisa de material. Una cantidad escasa dará una pieza sin rellenar con superficies esponjosas, mientras que un exceso sería inútil y exigiría una presión adicional, por lo que se recomienda un exceso del 3 al 10% en la pieza acabada.
- No existirá ventaja si el material se mantiene durante mucho tiempo en la prensa esto en cuanto a lo referente a la maduración del material.
- Un calor sostenido presenta marcas especiales, que presentan el aspecto de haber aire confinado superficialmente.
- La velocidad de la operación dependerá de la rapidez con que se pueda calentar y enfriar el molde.
- En el caso de un molde positivo, la carga del molde ha de comprender una pequeña cantidad para rebosar, con el fin de proporcionar la contrapresión necesaria.
- Una carga excesiva es un derroche, retarda el tiempo del ciclo y, a veces produce marcas debidas al calor, a causa de la temperatura elevada o el calentamiento prolongado requeridos para hacer salir el exceso de material.

2.2.11.2. Métodos de Control

Temperatura

Uno de los factores más importantes para conseguir un moldeo eficaz es el control de la temperatura. El sistema de control de la temperatura puede constar de cuatro componentes básicos: par termoeléctrico, controlador de la temperatura, dispositivo de suministro de potencia y radiadores.

Más de un 98% de los sensores de temperatura utilizados en la industria del plástico son pares termoplásticos o conocidas por su nombre comercial como "termocuplas". Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

El diagrama del sistema eléctrico y de control digital de temperatura se los describe en el **Anexo A**.

Está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y níquel). Por ejemplo:

- La unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 mili volts.

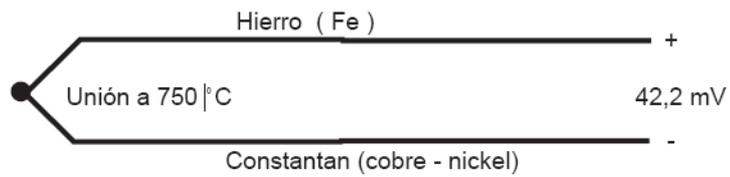


Figura 2.11 Funcionamiento Termocupla Tipo J

El rango de la temperatura de utilización se encuentran entre -180°C y 750°C .

Para dar un límite de temperatura de calentamiento al material plástico se colocan Controladores Digitales de Temperatura los cuales muestran por medio de una pantalla la temperatura alcanzada y envían una señal para apagar o encender la resistencia en la temperatura establecida en el mando análogo.



Figura 2.12 Controladores Digitales de Temperatura

2.3. MARCO CONTEXTUAL

2.3.1. TIPOS DE DESECHOS

Los tipos de desechos que afectan al medio ambiente se los puede clasificar de la siguiente manera:

Domiciliario: desecho proveniente de hogares, por ejemplo envases de gaseosa, fundas, cartón, vidrio, tetrapak, etc.

Industrial: son producto de los procesos de transformación de la materia prima, por ejemplo hidrocarburos, lodos industriales, aceites, residuos de arsénico, etc.

Hospitalario: son considerados peligrosos, pudiendo ser orgánicos e inorgánicos.

Comercial: provienen de mercados, tiendas, oficinas, etc.

Urbano: residuo de la población en parques, jardines, calles, etc.

2.3.2. DIFICULTADES

Los desechos plásticos que son arrojados al ambiente contaminan el suelo al no poder degradarse por microorganismos o por las condiciones ambientales, por lo que son acumulados en vertederos. En el agua los plásticos se descomponen rápidamente liberando sustancias tóxicas perjudiciales para el ser humano y para los animales.

La acumulación incontrolada de plásticos y mezclada con otros tipos de residuos generando problemas medioambientales tales como:

- Ocupan un volumen importante.
- Impacto visual porque vuelan y se esparcen por la zona.
- Permanencia en el tiempo, ya que tardan cientos de años en degradarse.
- Lixiviados.
- Al mezclarse con otros materiales se dificulta el reciclado.
- Proceso de reciclados al 100% de los desechos plásticos es muy costosa.

2.3.3. APLICACIONES

Para reutilizar los desechos se requiere de procesos de selección para después procesarlo y transformarlo en algo útil. Las principales aplicaciones son:

- Obtención de fibras de poliéster a partir del PET, lo que sirve de textil para fabricación de vestimenta, bolsas, recipientes que no tengan contacto con alimentos, cuerdas, etc.
- Fabricación de madera plástica lo que sirve como materia prima para postes, vallas, cercas, juegos infantiles, sillas, etc.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.1. RESTRICCIONES DE DISEÑO.

El diseño deberá cumplir con diversas condiciones de funcionamiento y fabricación para brindar al usuario funcionalidad, seguridad, confiabilidad, eficiencia, entre otras, por supuesto teniendo presente el aspecto económico. Para lo cual las restricciones del diseño de la prensa son:

- Reducir las pérdidas de energía y material
- Elevar la temperatura de toda la masa de plástico y mantenerla hasta obtener una fusión de todo el material
- Generar la presión de compactación sobre toda el área requerida
- Cumplir con las tolerancias establecidas
- Facilidad de fabricación
- Disminuir los costos en materiales, componentes y fabricación

Los factores nombrados deben ser tomados en cuenta para realizar una correcta toma de decisiones al evaluar las diferentes características que debe tener el diseño y construcción de la máquina.

3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y ALTERNATIVAS

El sistema de prensado de plástico consta de un sistema hidráulico que permite obtener la presión necesaria que se genera sobre el material. Una estructura soporta las cargas de acción y reacción durante la compactación. Para la fusión de las partículas de plástico se genera calor por medio de resistencias eléctricas, elevando su temperatura hasta fusionar el material, las mismas que se cubrirán con aislante térmico al igual que el resto del molde.

Las siguientes alternativas propuestas tendrán el mismo sistema descrito anteriormente, pero se diferenciarán en la geometría del molde.

Alternativa A

- El molde será cuadrado, compuesto por componentes de acero soldados en sus paredes, y su base podrá desmontarse con ayuda de pasadores.

Alternativa B

- El molde tendrá forma cilíndrica, compuesto por tubería de acero y su base estará soldada.

3.2. MATRIZ DE SELECCIÓN

Para la selección de la alternativa más conveniente se proponen parámetros de evaluación con el fin de diferenciarlos entre sí de acuerdo a su nivel de importancia, designando valores como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Matriz de selección de alternativas

Ord.	Parámetros de Evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P	W.F.
1	Control de variables de operación	--	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10,0	0,18
2	Confiabilidad		--	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	8,5	0,15
3	Mantenibilidad		0,5	--	1	1	1	1	1	1	1	1	8,5	0,15
4	Seguridad				--	1	1	1	1	1	1	1	7,0	0,13
5	Costo de fabricación					--	0,5	1	1	1	1	1	5,5	0,10
6	Construcción					0,5	--	1	1	1	1	1	5,5	0,10
7	Durabilidad							--	1	1	1	1	4,0	0,07
8	Maniobrabilidad								--	1	1	1	3,0	0,05
9	Capacidad de producción									--	1	1	2,0	0,04
10	Eficiencia										--	1	1,0	0,02
												Σ	55,0	1,00

En la próxima tabla se analizará las alternativas calificándolas de acuerdo al grado de cumplimiento del parámetro analizado para obtener como resultado la alternativa más conveniente para el proyecto.

Tabla 3.2 Matriz de decisión

Parámetros de Evaluación	W.F.	Alternativa 1			Alternativa 2		
		Descripción	R.F.	Cal	Descripción	R.F.	Cal
Control sobre variables	0,18	Correcto control de las variables	10	1,8	Correcto control de las variables	10	1,8
Confiabilidad	0,15	Alta confiabilidad en condiciones de operación	10	1,5	Alta confiabilidad en condiciones de operación	10	1,5
Mantenibilidad	0,15	Alta facilidad de desmontaje para mantenimiento de cada componente	10	1,5	Facilidad media de desmontaje para mantenimiento de cada componente.	8	1,2
Seguridad	0,13	Operación segura	10	1,3	Operación segura	10	1,3
Costo de fabricación	0,10	Facilidad de obtención y maquinado de los componentes	10	1,0	Más mano de obra y componentes más costosos	8	0,8

Continuación Tabla 3.2

Construcción	0,1 0	Mayor facilidad en la construcción/montaje	10	1,0	Construcción/montaje más complejos	8	0,8
Durabilidad	0,0 7	Aceptable período de vida útil (desgaste mínimo)	10	0,7	Aceptable período de vida útil (desgaste mínimo)	10	0,7
Maniobrabilidad	0,0 5	Facilidad de operación de la máquina	10	0,5	Facilidad de operación de la máquina	10	0,5
Capacidad de producción	0,0 4	Alta capacidad de producción	10	0,4	Media capacidad de producción	9	0,36
Eficiencia	0,0 2	Excelente fusión y mezcla del material	10	0,2	Excelente fusión y mezcla del material	10	0,2
Σ	1,0 0	X1		9,9	X2		9,16

3.3. VARIABLES DE DISEÑO

Las variables involucradas en el diseño del equipo son elegidas tal que se tenga un sistema eficiente que funda la mezcla de plásticos reciclados, siempre pensando en factores como funcionalidad, eficiencia, capacidad de producción, seguridad en el proceso, etc. Un punto importante es alcanzar la temperatura de fusión y mantenerla en todo el molde hasta elevar la temperatura a todo el plástico, obteniendo la placa en excelentes condiciones. Para realizar en el menor tiempo posible el proceso se tiene que reducir al máximo las pérdidas, puede ser con el uso de aislantes térmicos por toda el área de la matriz.

La presión a ejercer sobre el molde genera esfuerzos en la estructura por lo que se necesita un diseño mecánico que permita crear un sistema capaz de soportar las cargas sin ningún inconveniente.

3.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

La Matriz de decisión da como resultado que la Alternativa A es la más conveniente para el desarrollo del proyecto debido a factores importantes tales como: costo, construcción, mantenimiento, montaje y capacidad de producción, los cuales son determinantes para la selección de la primera alternativa.

La alternativa seleccionada permitirá obtener de forma directa tablas de plástico reciclado sin necesidad de retirar material sobrante, evitando un posterior proceso de corte que demoraría el estudio de las muestras.

CAPÍTULO 4

DISEÑO

4.1. DISEÑO TÉRMICO

4.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para la correcta toma de decisiones se realizaron pruebas que permitieron conocer datos importantes para el desarrollo del diseño térmico del sistema, como son:

- Tiempos de fusión del plástico
- Aislante térmico (tipo y espesor)
- Energía necesaria para fundir el polímero o la mezcla
- Posición de las resistencias eléctricas
- Pérdidas de energía con el ambiente

Los experimentos se efectuaron con la utilización de los siguientes materiales:

- Resistencia Eléctrica Tipo Abrazadera
- Dos Cilindros de Acero (A y B).
- Prensa Hidráulica

- Gata Hidráulica
- Aislantes Térmicos (Lana de Vidrio-Fibra Cerámica).
- Plástico molido

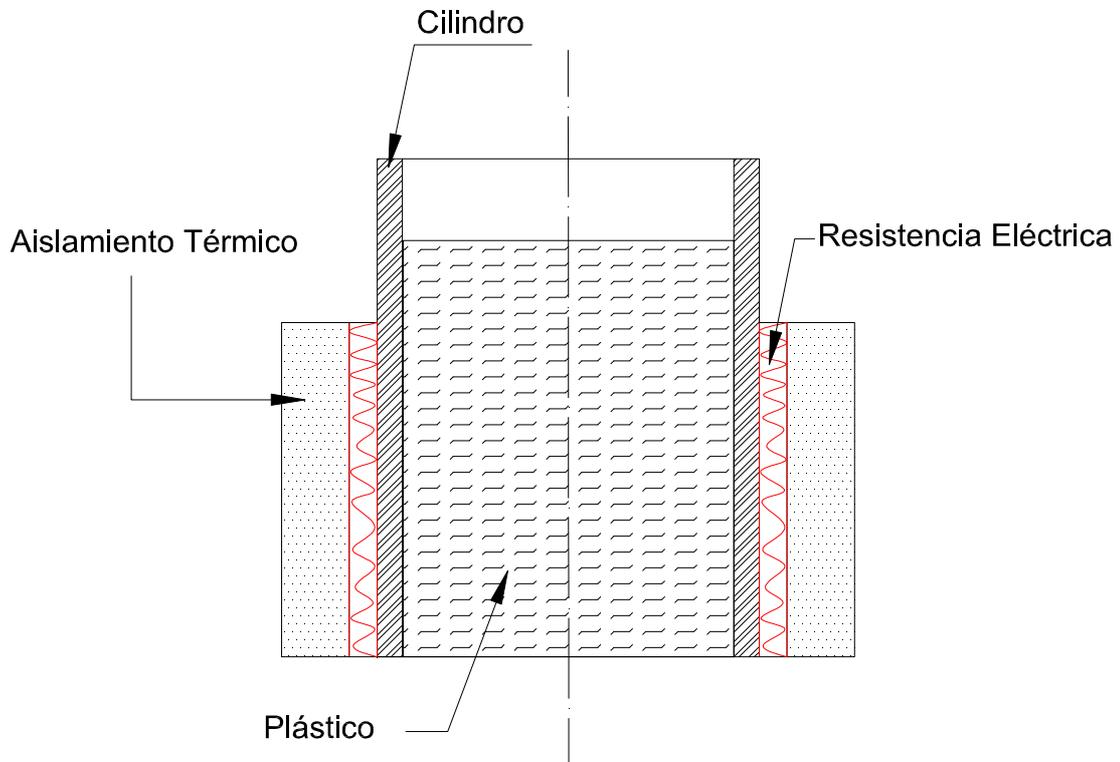


Figura 4.1 Esquema del Sistema usado para la obtención de parámetros de diseño.

4.1.1.1. Pruebas preliminares

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los plásticos a utilizar en el proceso de moldeo por Termopresión, como son el Polietileno Tereftalato (PET), y el Polietileno de Alta densidad (HDPE), se efectuaron pruebas preliminares colocando el plástico molido dentro del cilindro y calentándolo, con cada uno de los polímeros anteriormente nombrados, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.1 Datos preliminares obtenidos

	Masa (gr)	Tiempo de fusión (min)	Temperatura de fusión (C)
PET	20	25	254
HDPE	20	12	130
HDPE-PET-Cascarilla	20	11	141.6

Aislante	Lana de Vidrio
Cilindro utilizado	A

- Al dejar que suba la temperatura 4 a 6 grados respecto a su punto de fusión el plástico inmediatamente comienza a quemarse. Para evitar esto se debe mantener la temperatura de fusión en un rango de ± 3 hasta que todo el material se encuentre fundido.
- En el caso del PET la fusión lleva mucho más tiempo que el resto de polímeros, por lo que la energía requerida para su moldeo va hacer mayor.
- El polímero más fácil de moldear es el HDPE debido a su temperatura de fusión (150 C) la cual se puede alcanzar en menor tiempo.
- En base a los resultados obtenidos el tipo plástico a tomar como referencia de diseño será el PET debido a que su tiempo y temperatura de fusión son los más altos, por lo que necesitará mayor cantidad de calor para su moldeo respecto al HDPE, tomándolo como el polímero más crítico en el proceso de fusión.
- La temperatura máxima a la que llegue el sistema será la Temperatura de Fusión del PET (260 c ± 3), de esta manera se tendrá un diseño capaz de fundir los polímeros antes mencionados sin problema alguno.

- A pesar de tener el menor calor específico respecto a los otros polímeros el PET es el que más energía requiere para su fusión debido a su alta temperatura de fusión.
- La prueba realizada con la mezcla de HDPE, PET y cascarilla de arroz mostró que el PET, no se ve afectado por la temperatura, en cambio el HDPE, se funde con facilidad.

4.1.1.2. Pruebas posteriores

- Las siguientes pruebas se realizaron en dos grupos, dentro del **primer grupo** se efectuaron cuatro experimentos con las siguientes características:

Tabla 4.2 Características del primer grupo de pruebas

Prueba	Aislante	Tipo de plástico	Masa
1	Lana de Vidrio	PET	50
2	Lana de Vidrio	PET	80
3	Fibra Cerámica	PET	50
4	Fibra Cerámica	PET	80

Cilindro utilizado	A
Fuerza Ejercida	10 Ton

De los cuales se tomaron los siguientes datos:

Tabla 4.3 Datos obtenidos del primer grupo de pruebas

Prueba Realizada	Aislante	Temperatura de Fusión	Tiempo hasta T_{fusión}	Tiempo de Fusión	Temperatura de Pared
		C	min	min	C
1	Lana de Vidrio	260	20	30	130
2	Lana de Vidrio	260	25	40	130
3	Fibra Cerámica	260	12.5	20	43
4	Fibra Cerámica	260	20	32	40

4.1.1.3. Cálculos y conclusiones posteriores

Los cálculos para las cuatro prácticas fueron realizados siguiendo la misma metodología que se encuentra a continuación. El siguiente es el cálculo detallado de la prueba 3.

Experimento 3

Cálculo para la fundición de 50 gr. de PET

Temperatura Ambiente

T_{am} := 20 C

Temperatura de Fusión del PET

T_{fun} := 260 C

Coefficiente de Conductividad Térmica del PET

$$k_{\text{pet}} := 0.24 \quad \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Propiedades de la Fibra Cerámica

$$k_{\text{ais}} := 0.07 \quad \text{W / m K}$$

$$e_{\text{ais}} := 0.0254 \quad \text{m}$$

$$\epsilon_{\text{ais}} := 0.9$$

Dimensiones de la Resistencia Eléctrica

Espesor

$$e_{\text{res}} := 0.0045 \quad \text{m}$$

Diámetro Interno

$$d_{\text{i}} := 0.073 \quad \text{m}$$

Diámetro Externo

$$d_{\text{e}} := 0.0775 \quad \text{m}$$

Altura

$$h_{\text{res}} := 0.045 \quad \text{m}$$

Dimensiones del Cilindro A

Espesor

$$e_{\text{cil}} := 1.2 \quad \text{mm}$$

Altura

$$\text{altura} := 0.0785 \quad \text{m}$$

Diámetro Externo

$$d := 73 \quad \text{mm}$$

$$D_{\text{cilindro}} := \frac{d}{1000}$$

$$D_{\text{cilindro}} = 0.073 \quad \text{m}$$

Diámetro Interno

$$D_i := D_{\text{cilindro}} - 2 \cdot \frac{e_{\text{cil}}}{1000}$$

$$D_i = 0.071 \quad \text{m}$$

Área de la base del cilindro

$$A_{\text{cil}} := \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$$

$$A_{\text{cil}} = 3.915 \times 10^{-3} \quad \text{m}^2$$

Masa de plástico PET

$$m_{\text{plas}} := 0.05 \quad \text{kg}$$

Calor Específico

$$c_{\text{ppet}} := 1200 \quad \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{C}}$$

Potencia Teórica generada por la Resistencia eléctrica

Resistencia

$$R := 232 \quad \Omega$$

Voltaje

$$V := 218 \quad \text{v}$$

$$E := \frac{V^2}{R}$$

$$E = 204.845 \quad \text{w}$$

Calor teórico necesario para elevar la temperatura del plástico hasta Tfun

$$Q_{\text{fun1}} := m_{\text{plas}} \cdot c_{\text{ppet}} \cdot (T_{\text{fun}} - T_{\text{am}})$$

$$Q_{\text{fun1}} = 1.44 \times 10^4 \quad \text{Joules}$$

Cálculo del Coeficiente de Convección para pared Externa

Propiedades del Aire para el cálculo del Coeficiente de convección h

- v Viscosidad Cinemática
- k Conductividad Térmica
- α Difusividad Térmica
- Pr Número de Prandtl

Propiedades del Aire para el cálculo del Coeficiente de convección h

A 250 K -27 C

$$v1 := 11.44 \cdot 10^{-6}$$

$$k1 := 22.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha1 := 15.9 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr1 := 0.72$$

A 300 K 27 C

$$v_2 := 15.89 \cdot 10^{-6}$$

$$k_2 := 26.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := 22.5 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_2 := 0.707$$

A 350 K 77 C

$$v_3 := 20.92 \cdot 10^{-6}$$

$$k_3 := 30 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_3 := 29.9 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_3 := 0.7$$

Temperatura exterior medida en la Fibra Cerámica

$$T_S := 43 \text{ C}$$

Temperatura Media

$$T_m := \frac{T_S + T_{am} + 546}{2}$$

$$T_m = 304.5 \text{ k}$$

Interpolación para hallar propiedades del aire a T_m

$$a := \frac{350 - 300}{350 - T_m}$$

$$v := v_3 - \left(\frac{v_3 - v_2}{a} \right)$$

$$v = 1.634 \times 10^{-5}$$

$$k := k_3 - \left(\frac{k_3 - k_2}{a} \right)$$

$$k = 0.027$$

$$\alpha := \alpha_3 - \left(\frac{\alpha_3 - \alpha_2}{a} \right)$$

$$\alpha = 2.317 \times 10^{-5}$$

$$Pr := Pr_2 - \left(\frac{Pr_2 - Pr_3}{a} \right)$$

$$Pr = 0.701$$

Número de Rayleigh

Datos obtenidos

$$g := 9.8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k = 0.027 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha = 2.317 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$v = 1.634 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr = 0.701$$

Coefficiente de Expansión

$$B := \frac{1}{T_m}$$

$$B = 3.284 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

Diámetro del sistema considerando aislamiento y resistencia

$$D := D_{\text{cilindro}} + 2 \cdot e_{\text{res}} + 2 \cdot e_{\text{ais}}$$

$$D = 0.133 \text{ m}$$

$$Ra_D := \frac{g \cdot B \cdot (T_S - T_{\text{amb}}) \cdot D^3}{v \cdot \alpha}$$

$$Ra_D = 4.579 \times 10^6$$

Número de Nusselt

$$\text{NuD} := \left[0.6 + \frac{0.387 \cdot \text{RaD}^{\frac{1}{5}}}{\left[1 + \left(\frac{0.889}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{12}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$\text{NuD} = 51.649$$

Coefficiente de Convección

$$h := \frac{k}{D} \cdot \text{NuD}$$

$$h = 10.358 \quad \text{W / m}^2 \text{ K}$$

Radio Crítico de Espesor de aislamiento

$$r_{cr} := \frac{k \cdot 1000}{h}$$

$$r_{cr} = 2.571 \quad \text{mm}$$

Radio Externo del sistema

$$r_2 := \frac{D}{2}$$

$$r_2 = 0.066 \quad \text{m}$$

Coeficiente de Boltzman

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Radio considerando espesor de la lámina de aluminio r3

$$r3 := r2 + 0.001$$

$$r3 = 0.067 \quad \text{m}$$

Cálculo de Pérdidas

Pérdidas desde las Paredes Exteriores del Cilindro al ambiente

Calor perdido por Convección

$$Q1_{\text{conv}} := h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r3 \cdot \text{altura} \cdot (T_S - T_{\text{am}})$$

$$Q1_{\text{conv}} = 7.92 \quad \text{W}$$

Calor perdido por Radiación

$$Q1_{\text{rad}} := \epsilon_{\text{ais}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r3 \cdot \text{altura} \cdot \sigma \cdot (T_S^4 - T_{\text{am}}^4)$$

$$Q1_{\text{rad}} = 5.528 \times 10^{-3} \quad \text{W}$$

Calor perdido por Conducción desde la base del cilindro hacia la mesa

Diámetro del Sistema

$$D_{\text{base}} := D_{\text{cilindro}} + 2 \cdot e_{\text{res}} + 2 \cdot e_{\text{ais}}$$

$$D_{\text{base}} = 0.133 \quad \text{m}$$

Área de la Base del Sistema

$$A_{\text{base}} := \pi \cdot \frac{D_{\text{base}}^2}{4}$$

$$A_{\text{base}} = 0.014 \quad \text{m}^2$$

Temperatura en la Base

$$T_{base} := 32 \quad \text{C}$$

$$Q_{cond} := \frac{k_{ais} \cdot A_{base}}{e_{ais}} \cdot (T_{base} - T_{am})$$

$$Q_{cond} = 0.458 \quad \text{w}$$

Calor perdido al ambiente Q1 (exterior del sistema)

$$Q1 := Q1_{conv} + Q1_{rad} + Q_{cond}$$

$$Q1 = 8.384 \quad \text{w}$$

Pérdidas desde la pared interior del cilindro hacia el Exterior

Para el cálculo de las pérdidas de energía desde el interior del cilindro hacia el exterior debemos obtener un nuevo coeficiente de convección ya que la temperatura interna de pared interna del cilindro es mayor ($T_{pi} = 260 \text{ C}$), aumentando la transferencia de calor hacia el ambiente, es decir generando más pérdidas.

Cálculo del Coeficiente de Convección para la pared interna.

Temperatura exterior medida en la pared interna del cilindro

$$T_{pi} := 260 \quad \text{C}$$

Temperatura Media

$$T_{m2} := \frac{T_{pi} + T_{am} + 546}{2}$$

$$T_{m2} = 413 \quad \text{k}$$

Propiedades del Aire para el cálculo del Coeficiente de convección (h2)

A 400 K 127 C

$$v_4 := 26.41 \cdot 10^{-6}$$

$$k_4 := 33.8 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_4 := 38.3 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_4 := 0.690$$

A 450 K 177 C

$$v_5 := 32.39 \cdot 10^{-6}$$

$$k_5 := 37.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_5 := 47.2 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_5 := 0.686$$

Interpolación para hallar propiedades del aire a Tm2

$$b := \frac{450 - 400}{450 - T_{m2}}$$

$$v_i := v_5 - \left(\frac{v_5 - v_4}{b} \right)$$

$$v_i = 2.796 \times 10^{-5}$$

$$k_i := k_5 - \left(\frac{k_5 - k_4}{b} \right)$$

$$k_i = 0.035$$

$$\alpha_i := \alpha_5 - \left(\frac{\alpha_5 - \alpha_4}{b} \right)$$

$$\alpha_i = 4.061 \times 10^{-5}$$

$$Pr_i := Pr_4 - \left(\frac{Pr_4 - Pr_5}{b} \right)$$

$$Pr_i = 0.687$$

Número de Rayleigh

Datos obtenidos

$$g := 9.8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_i = 0.035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha_i = 4.061 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$v_i = 2.796 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Pri} = 0.687$$

Coefficiente de Expansión

$$B_i := \frac{1}{T_{m2}}$$

$$B_i = 2.421 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

$$\text{RaDi} := \frac{g \cdot B_i \cdot (T_{pi} - T_{am}) \cdot D_i^3}{v_i \cdot \alpha_i}$$

$$\text{RaDi} = 1.764 \times 10^6$$

Número de Nusselt

$$\text{NuDi} := \left[0.6 + \frac{0.387 \cdot \text{RaDi}^{\frac{1}{5}}}{\left[1 + \left(\frac{0.889}{\text{Pri}} \right)^{\frac{9}{12}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$\text{NuDi} = 36.362$$

Coefficiente de Convección Interno

$$h_i := \frac{k_i}{D_i} \cdot \text{NuDi}$$

$$h_i = 17.877 \quad \text{W / m}^2 \text{ K}$$

Dimensiones del área interna de convección

Espesor de muestra obtenido

$$e_m := 0.0077 \quad \text{m}$$

Altura del área interna de transferencia de calor al ambiente

$$L_i := \text{altura} - e_m - e_{ais}$$

$$L_i = 0.045 \quad \text{m}$$

Calor perdido por Convección Interna

Pared Interna

$$Q_{conv1} := h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_i}{2} \cdot L_i \cdot (T_{pi} - T_{am})$$

$$Q_{conv1} = 43.203 \quad \text{w}$$

Superficie superior aislada

$$Q_{conv2} := h \cdot A_{cil} \cdot (T_S - T_{am})$$

$$Q_{conv2} = 0.933 \quad \text{w}$$

Calor Total perdido por convección

$$Q_{2conv} := Q_{conv1} + Q_{conv2}$$

$$Q_{2conv} = 44.136 \quad \text{w}$$

Calor perdido por Radiación Interna

Emisividad del Acero

$$\epsilon_{acero} := 0.24$$

Emisividad del Aluminio

$$\epsilon_{al} := 0.07$$

$$Q_{2rad} := \epsilon_{acero} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_i}{2} \cdot L_i \cdot \sigma \cdot (T_{pi}^4 - T_{am}^4) + \epsilon_{ais} \cdot A_{cil} \cdot \sigma \cdot (T_S^4 - T_{am}^4)$$

$$Q_{2rad} = 0.627 \quad \text{w}$$

Calor perdido al ambiente Q2 (interior del sistema)

$$Q_2 := Q_{2\text{conv}} + Q_{2\text{rad}}$$

$$Q_2 = 44.762 \quad \text{w}$$

Flujo Total de Calor perdido hacia el ambiente

$$Q_{\text{per}} := Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{per}} = 53.146 \quad \text{w}$$

Balance de Flujo de Energía

$$E = Q_{\text{per}} + Q_f$$

E : Flujo de energía generada por la Resistencia [W]

Q_{per}: Pérdidas de calor con el ambiente [W]

Q_f : Flujo de energía entregado al plástico [W]

Flujo de Calor recibido por el plástico

$$Q_f := E - Q_{\text{per}}$$

$$Q_f = 151.699 \quad \text{w}$$

El uso de la Fibra Cerámica ayudo al aumento del flujo, afectando térmicamente al plástico en mayor parte respecto al Experimento 1 donde se uso lana de vidrio.

Masa fundida aproximada

mf_{fun} := 15 gr Esta masa representa alrededor del 30% de todo el material empleado en este experimento.

Tiempo experimental tomado para elevar la Temperatura de pared interna del cilindro hasta Tfun. (Tiempo de estabilización)

$$tf1 := 900 \quad \text{seg}$$

$$t1min := \frac{tf1}{60}$$

$$t1min = 15$$

Tiempo experimental tomado para elevar la masa del PET a Tfun

$$tf2 := 750 \quad \text{seg}$$

$$t2min := \frac{tf2}{60}$$

$$t2min = 12.5$$

Tiempo experimental tomado para fundir la masa del PET a Tfun

$$tf3 := 1200 \quad \text{seg}$$

$$t3min := \frac{tf3}{60}$$

$$t3min = 20$$

Los resultados obtenidos para cada una de las pruebas fueron:

Tabla 4.4 Resultados del primer grupo de pruebas

Prueba Realizada	Calor Entregado	Pérdidas	Aislante
	[w]	[w]	
1	94.29	110.55	Lana de Vidrio
2	99.97	104.86	Lana de Vidrio
3	151.69	53.14	Fibra Cerámica
4	157.48	47.36	Fibra Cerámica

En cada prueba se peso la masa de los bordes sacando el resto para conocer que cantidad aproximadamente se logro fundir correctamente.

Tabla 4.5 Masa aproximada fundida del primer grupo de pruebas

Prueba Realizada	Masa aprox. Fundida	Masa Total
	gr.	gr.
1	10	50
2	28	80
3	15	50
4	32	80

- Al ver el cuadro de resultados se puede observar que el mejor aislante que ayuda a disminuir las pérdidas al ambiente es la Fibra Cerámica, por lo que se selecciona dicho material para el diseño del sistema. La Fibra Cerámica permite elevar la temperatura del plástico y fundir el mismo en menor tiempo respecto a la lana de vidrio. La temperatura de pared exterior de la Fibra Cerámica con un espesor de 2.54 cm durante el proceso de fusión es aproximadamente 43 C, lo que da seguridad al operador al tener una superficie a una temperatura capaz de no causar daño por quemadura a la piel, claro que el flujo de calor es de 200 W, lo que tendría que considerarse al momento de establecer una temperatura de pared del diseño ya que el flujo de calor va hacer mucho mayor para la fundición de plástico.
- Al encender las resistencias empieza la transferencia de calor hacia el plástico, ganando energía, y hacia el ambiente generando pérdidas. Como se puede observar en el siguiente gráfico, las pérdidas por convección y radiación se dan a través de las paredes internas del cilindro y de la parte exterior del aislante.

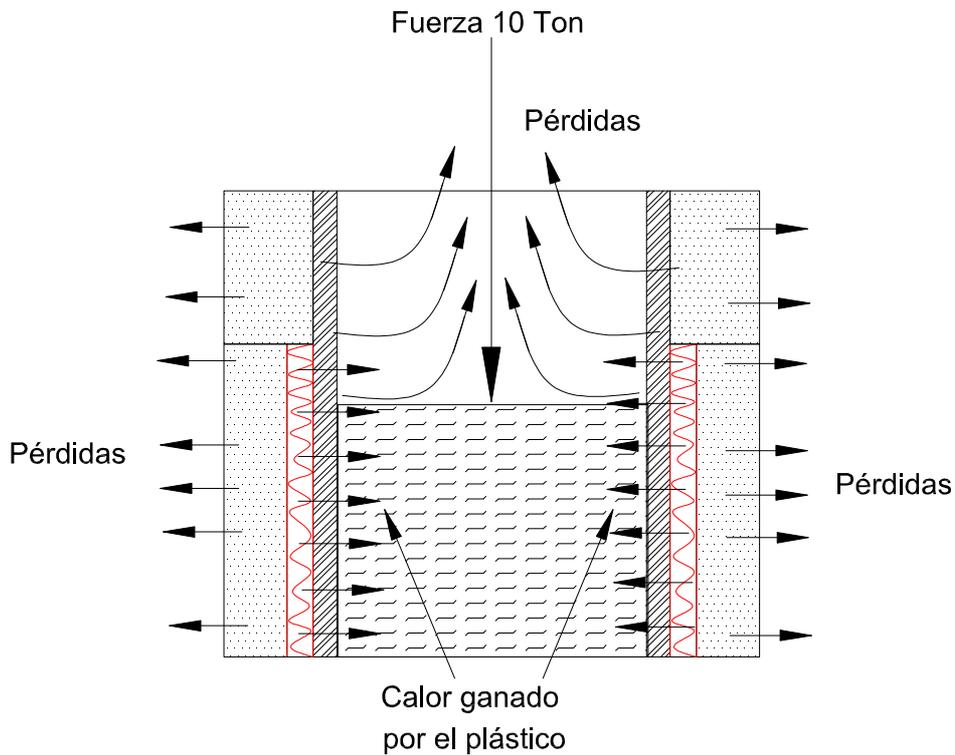


Figura 4.2 Pérdidas de energía con el ambiente

En los experimentos realizados las pérdidas de energía al ambiente van ser mayores conforme el pistón vaya comprimiendo el material en el interior del cilindro. Esto se debe a la disminución del área de transferencia de calor con el plástico, aumentando el área de convección con el ambiente y el pistón. Por este motivo la fusión del polímero o la mezcla, según el caso, va a tardar más tiempo gracias a la considerable disminución del flujo de calor al sistema.

Para reducir un poco las pérdidas se colocó aislante por el contorno del cilindro como se en el siguiente esquema:

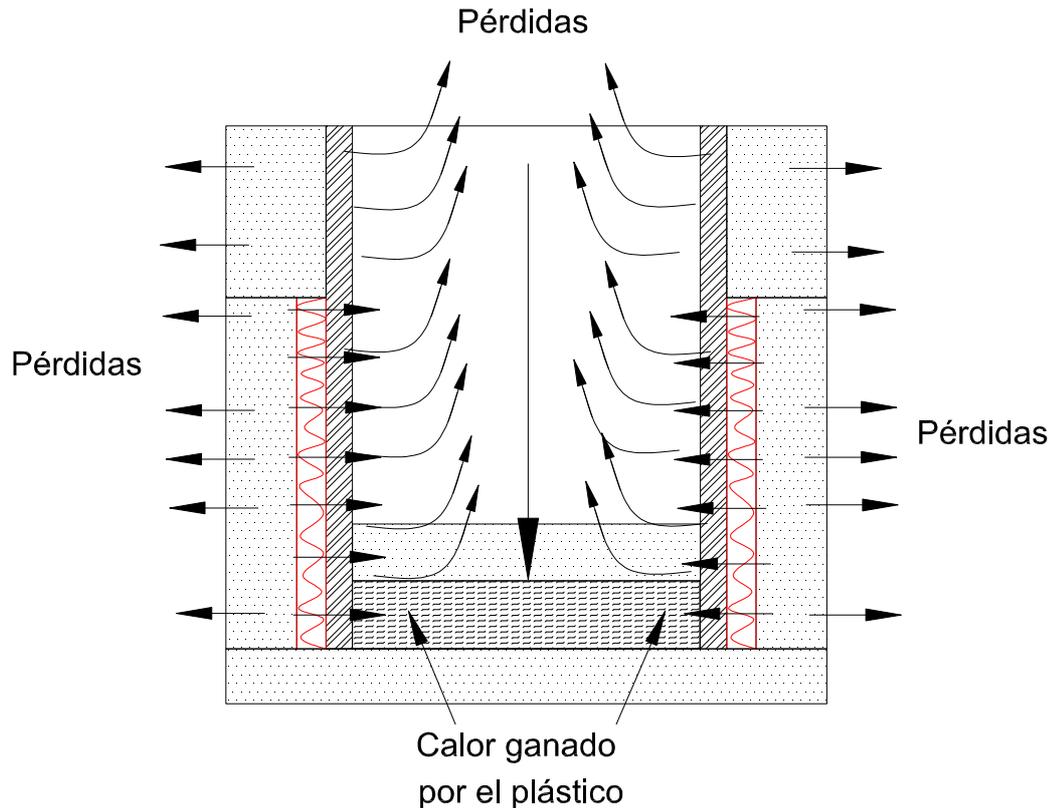


Figura 4.3 Aumento de las pérdidas de energía

, sin embargo el área de convección con el ambiente sigue aumentando en el interior del cilindro, disminuyendo cada vez más el flujo de energía hacia el plástico por lo tanto se requerirá más tiempo para la fusión del polímero o la mezcla.

- Las muestras obtenidas mostraron que el contorno estaba fundido y compactado completamente, ya que era la superficie más cercana de la generación de calor, esto representa un 20% de todo el material, es decir el flujo de energía recibido por el plástico y el área de transferencia de calor fueron muy reducidas para afectar térmicamente a todo el polímero. La parte interna solo era afectada por la presión ejercida, no mostraba cambios por efectos de la temperatura, por lo tanto:

- Para una mejor y mayor transferencia de calor hacia al plástico se debe buscar la mayor área posible de conducción de calor y mantenerla constante durante el proceso de Termopresión de plástico, por lo que las resistencias eléctricas deberán ir colocadas en la base del molde y en la parte superior de la prensa, teniendo así una mayor y constante área de transferencia de energía hacia el plástico, como se puede observar en el siguiente esquema:

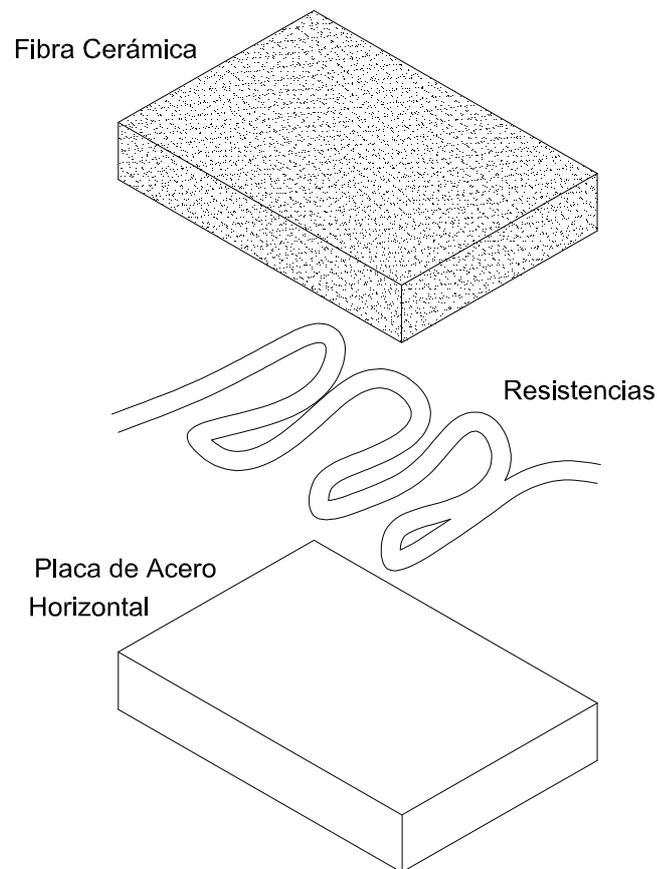


Figura 4.4 Disposición de las resistencias y aislante

- Todo el molde incluido la prensa serán aislados térmicamente con Fibra cerámica con el objetivo de disminuir al máximo las pérdidas al ambiente y lograr una más rápida fusión del material.

- El sistema no permitió fusionar completamente el material, solamente su contorno, pese a someterlo a Temperatura de fusión durante una hora y media.
 - Otra razón para que el plástico no pudo ser fundido fue su bajo coeficiente de conductividad térmica, es decir el paso de energía a través suyo es muy reducido, teniendo como resultado una fusión solo de los bordes.
- El **segundo grupo** de pruebas fue efectuado con la finalidad de conocer la densidad del PET obtenido en el proceso de Termopresión. Se colocó PET en diferentes cantidades, compactándolo y calentándolo, ejerciendo una fuerza de 10 Ton para luego obtener un volumen y su correspondiente densidad, como se puede ver en el siguiente cálculo:

Experimento 5

Dimensiones Cilindro B

Altura := 85.4 mm

Diámetro interno

ϕ_{in} := 65.5 mm

Espesor

ecilb := 0.0045 m

Masa de PET utilizada

mex := 70 gr

Espesor obtenido de plástico en la prueba con 10 TON de fuerza

$$ex := 1.140 \quad \text{cm}$$

Área de la base del cilindro 2

$$ac2 := \pi \cdot \frac{6.55^2}{4}$$

$$ac2 = 33.696 \quad \text{cm}^2$$

Volumen obtenido experimentalmente en el cilindro B

$$vex := ac2 \cdot ex$$

$$vex = 38.413 \quad \text{cm}^3$$

Densidad del material prensado (70 gr)

$$\rho_{70} := \frac{mex}{vex}$$

$$\rho_{70} = 1.822 \quad \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Para obtener un valor más preciso se realizaron cuatro experimentos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.6 Densidad promedio de PET prensado con 10 TON

Masa gr.	Espesor	Volumen	Densidad
gr	cm	cm ³	gr/cm ³
80	1.290	43.468	1.840
70	1.140	38.413	1.822
60	0.975	32.854	1.826
50	0.820	27.631	1.810
	d promedio		1.825

La densidad promedio obtenida experimentalmente permitirá calcular la cantidad aproximada de masa necesaria para la elaboración de una placa de PET de volumen 2700 cm^3 con las medidas mostradas en el siguiente gráfico:

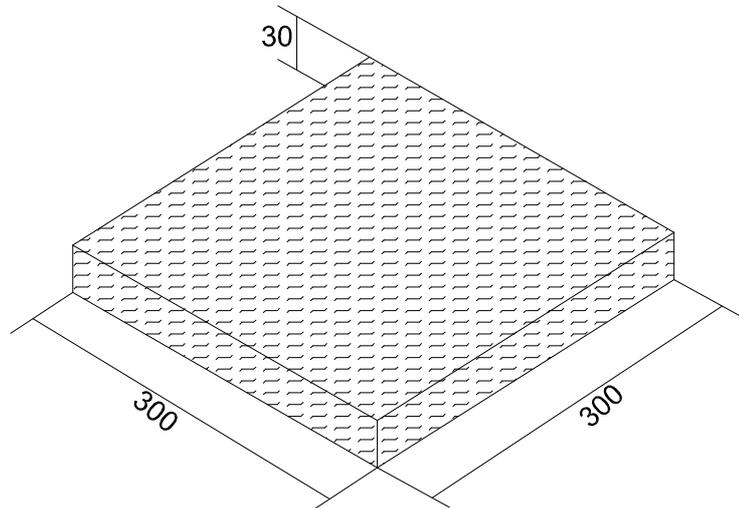


Figura 4.5 Medidas de placa de PET compactado

Densidad Promedio

$$\rho_p := 1.825 \quad \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Volumen Prensado en el molde

$$v_p := 2700 \quad \text{cm}^3$$

Masa de Plástico Necesaria para obtener la placa

$$m_{\text{pet}} := \frac{\rho_p \cdot v_p}{1000}$$

$$m_{\text{pet}} = 4.928 \quad \text{Kg}$$

Dentro del segundo grupo también se obtuvo experimentalmente la densidad del PET molido a condiciones normales, para estimar el alto del molde capaz de contener toda la masa de plástico necesaria sin necesidad de ejercer presión alguna. A continuación el cuadro de datos obtenido:

Volumen interior del cilindro B

$$V_{c2} := a_{c2} \cdot \frac{\text{Altura}}{10}$$

$$V_{c2} = 287.76 \quad \text{cm}^3$$

Masa de PET molido

$$m_p := 100 \quad \text{gr}$$

Densidad del PET molido a condiciones normales (100 gr)

$$\delta_m := \frac{m_p}{V_{c2}}$$

$$\delta_m = 0.348 \quad \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 4.7 Densidad promedio de PET molido

Masa gr.	Altura muestra	Volumen	Densidad
gr	cm	cm ³	gr/cm ³
100	8.540	287.764	0.348
80	6.320	212.959	0.376
70	5.440	183.306	0.382
60	4.720	159.045	0.377
50	3.830	129.056	0.387

<i>d promedio</i>	0.374
--------------------------	--------------

Cálculo del alto del molde

Densidad Promedio del PET molido

$$\rho_{\text{PET}} := 0.374 \quad \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Volumen necesario para colocar 5 kg. de PET molido

$$V_{\text{PET}} := \frac{5000}{\rho_{\text{PET}}}$$

$$V_{\text{PET}} = 1.337 \times 10^4 \quad \text{cm}^3$$

Área de la base del molde

$$A_{\text{MOLDE}} := 900 \quad \text{cm}^2$$

Alto de molde requerido

$$H := \frac{V_{\text{PET}}}{A_{\text{MOLDE}}}$$

$$H = 14.854 \quad \text{cm}$$

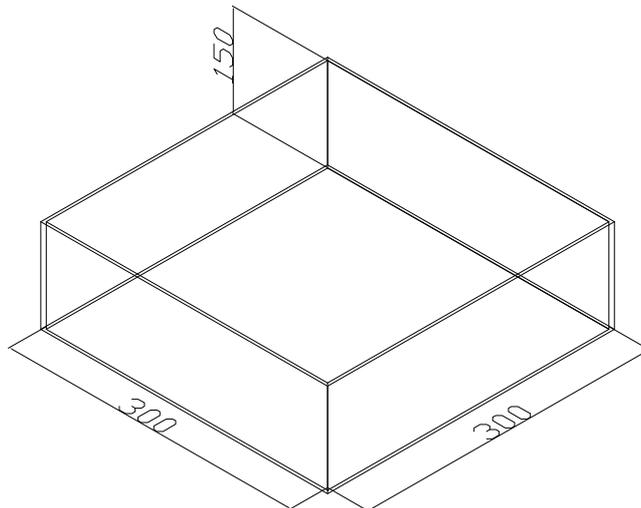


Figura 4.6 Alto del molde (medidas en mm).

- Se necesitaría aproximadamente 15 cm de alto de las paredes del molde para colocar toda la masa de PET necesaria, para el volumen a obtener, en una sola puesta. Pero esto sería incorrecto porque no se optimizaría el espacio ni el material del molde ya que se puede obtener la placa colocando el plástico por capas e ir presionando hasta tener toda la masa necesaria dentro del molde. Esto también ayudaría a tener una placa más uniforme en menor tiempo, ya que se tendrá una mejor fusión del plástico calentándolo y presionándolo poco a poco.

- La dimensión del alto de las paredes del molde será estudiada en el diseño mecánico del mismo, a fin de disminuir esfuerzos y optimizar materiales. Posterior a esto se conocerá en cuantas capas se debe colocar el material para obtener el volumen deseado.

- La masa de PET requerida es de aproximadamente 5 kg, con este dato se realizará el cálculo del calor de fusión para toda esa masa y así conocer el flujo de energía necesario para llevar al material hasta su punto de fusión en cierto tiempo.

- Una prueba final se realizó para conocer la capacidad de la vaselina como desmoldante del plástico. Para esto se perforó la base del cilindro A y se fabricó dos tapas de tol, con el fin de sacar la muestra con la ayuda de una gata hidráulica. Se untó la vaselina en la pared interna del cilindro y en las tapas de tol. Para iniciar la prueba se coloca la primera tapa, luego el plástico y la segunda tapa, y se procede como en las anteriores pruebas.

- La prueba demostró que la vaselina de petróleo es un buen desmoldante al no dejar material en ninguna de las tapas de tol, ni en el interior del cilindro.

4.1.2. DISEÑO TÉRMICO DEL MOLDE

4.1.2.1. Generación de energía a utilizar en el proceso

El diseño térmico del sistema se basará en las conclusiones mencionadas anteriormente y en los datos obtenidos para obtener un eficiente sistema de fusión de plástico por resistencias eléctricas.

Se calcularán las pérdidas de calor con el ambiente y la energía necesaria para fundir la mezcla, y así conocer la potencia y la resistencia que deberán tener los calefactores para fundir al plástico y compensar las pérdidas por convección y radiación calculadas, por lo tanto el proceso tiene el siguiente balance energético:

$$Q_c + Q_r + Q_f = P \quad (4.1)$$

Q_c: Calor perdido por Convección [W]

Q_r: Calor perdido por radiación [W]

Q_f: Calor necesario para fundir el plástico [W]

P: Potencia requerida de las resistencias [W]

Los calefactores van a ser colocados en la parte superior e inferior del molde, como se mencionó en las conclusiones de las prácticas realizadas, a fin de generar energía para fundir al plástico satisfactoriamente. El principio de funcionamiento de una resistencia se lo explica mediante el Efecto Joule.

4.1.2.2. Efecto Joule

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del

cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente".

Matemáticamente se expresa como:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (4.2)$$

Donde:

Q = energía calorífica producida por la corriente (J)

I = intensidad de la corriente que circula (A)

R = resistencia eléctrica del conductor (Ω)

t = tiempo (seg)

Así, la potencia disipada por efecto Joule será:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (4.3)$$

P = potencia generada (W)

Varios electrodomésticos se basan en este efecto como son hornos, las tostadoras y las calefacciones eléctricas, y algunos aparatos empleados industrialmente como soldadoras, etc., donde se aprovecha el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente.

Luego de haber realizado el balance energético del sistema se obtendrá el calor requerido (P) para moldear el plástico, con el cual se podrá obtener la resistencia en ohmios necesaria para la construcción de las mismas, es decir su cálculo será:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (4.4)$$

4.1.2.3. Material

- La selección del material del molde es importante para la suficiente transferencia de calor al plástico. La conductividad térmica debe ser alta como es el caso de los metales como el acero cuya conductividad es de 60.5 W/m-k, y la del aluminio que es de 237 W/m-k pero el costo de este último es alto y es un material frágil, el mismo que no soportará las cargas de compresión que se va a someter al molde. Por otro lado el acero permitirá una excelente transferencia de calor y soporte para las cargas a las que va a ser sometido el plástico para su compresión, y su costo es económicamente accesible por lo que se lo selecciona.

4.1.2.4. Dimensiones

- Las dimensiones mínimas del molde son condicionadas por el volumen de plástico prensado a obtener (2700 cm³), sin embargo la profundidad del mismo deberá ser tal que se pueda depositar la cantidad necesaria de plástico molido o la mezcla a condiciones normales, dependiendo de la prueba que se vaya a realizar, para obtener una placa del volumen especificado después de ejercer presión y generar calor. Pero como se mencionó en los parámetros de diseño la profundidad del molde no es una variable térmica significativa ya que el plástico puede ser colocado capa por capa e ir compactándolo hasta lograr el volumen requerido. Esta dimensión será estudiada en el diseño mecánico del mismo.
- El espesor de las placas de acero que conformen el molde no será una variable que afecte a la transferencia de calor significativamente debido a la alta conductividad que posee este metal. El análisis mecánico será el que decida la dimensión del espesor tal que soporte los diferentes esfuerzos.

4.1.2.5. Aislante térmico

El aislante a utilizar, como se mencionó en el primer punto de este capítulo, es la Fibra Cerámica. Este material será colocado alrededor de todo el molde para reducir las pérdidas de calor por las paredes del molde por Convección y Radiación, esto ayudará a moldear el polímero en el menor tiempo posible para obtener la muestra para su posterior estudio.

Las características y propiedades de la Fibra Cerámica se las detalla a continuación.

Descripción:

- Temperatura de Servicio: 1260 C
- Esta manta se obtiene de fibras centrifugadas las cuales poseen la cualidad de ser químicamente inertes.
- No contiene ligantes, esta cosida por las dos caras.
- Es muy resistente antes y después de su calentamiento.
- Su coeficiente de absorción de sonido es muy superior al de los productos refractarios densos o aislantes.

Ventajas

- Excelente desempeño en el aislamiento térmico.
- Buena inercia química, excepto a ácidos fluorhídrico, fosfórico y las bases fuertes.
- Gran estabilidad térmica.
- Baja acumulación térmica.
- Fuerte resistencia al desgarramiento y rotura tanto en caliente como frío, gracias a las propiedades de las fibras centrifugadas y al doble cosido.
- Ligereza y resiliencia.
- Insensible al choque térmico.
- Buen aislamiento acústico.

Tabla 4.8 Espesores comerciales de fibra cerámica

Espesores (pulg.)	Ancho (cm)	Largo (cm)
1/2"	60	15.2
1"	60	7.6
2"	60	3.8

Aplicaciones

- Revestimiento de hornos industriales.
- Aislamiento de calderas.
- Enfriamiento controlado.
- Calefacción de hornos de vidrio.
- Aislamiento de los conductos de gases en tuberías.
- Pantallas térmicas en la industria del automóvil.
- Protección contra incendios.
- Piezas cortadas para la industria del electrodoméstico.
- Aislamiento de las turbinas de gas o vapor.

Tabla 4.9 Contracción lineal y conductividad térmica de aislante

Prestaciones a alta temperatura

* Contracción lineal permanente después de 24h (NF-B-40-452) de calentamiento sobre las dos caras a:

1000 °C	%	1.5
1100 °C	"	2.2
1200 °C	"	3.0
1300 °C	"	5.5
1400 °C	"	-
1500 °C	"	-

* Conductividad térmica a la temperatura media de:

		64 kg/m ³
200 °C	W/m.k	0.07
400 °C	"	0.12
600 °C	"	0.20
800 °C	"	0.30
1000 °C	"	0.43

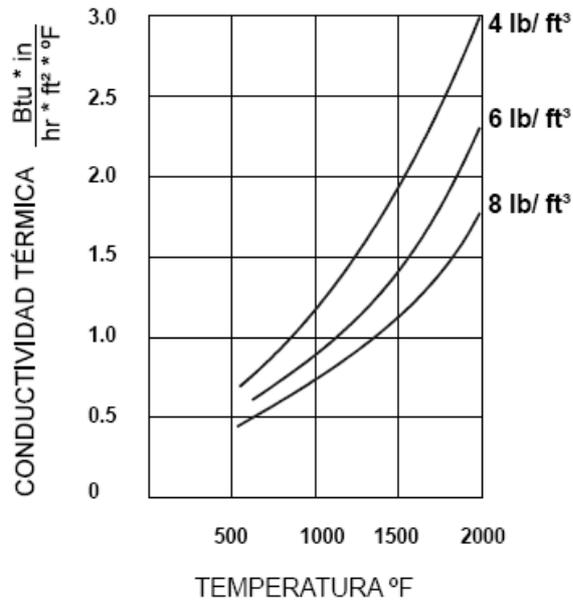


Figura 4.7 K vs. Temperatura

Tabla 4.10 Composición Química

		kJ/kg.K
Composición química		
Al ₂ O ₃	%	46.5
SiO ₂	"	53.3
Cr ₂ O ₃	"	-
ZrO ₂	"	-
Fe ₂ O ₃ + TiO ₂	"	0.15
CaO + MgO	"	0.05
Na ₂ O + K ₂ O	"	0.10

4.1.3. ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El molde posee seis áreas de transferencia de calor que son cada una de sus paredes. Las verticales, que son cuatro, tienen la misma área la cual será la longitud del lado del molde por el espesor de la placa de plástico. Por otro lado la pared superior e inferior tiene como área la longitud de la placa al cuadrado, en estas áreas es donde va a existir el mayor flujo de calor hacia el plástico.

El área a tomar en cuenta para calcular las pérdidas será la que este expuesta al ambiente y así obtener la energía entregada a los alrededores por convección y radiación. En los cálculos y diagramas siguientes se detalla el área de transferencia de calor donde se aprovecha la energía y donde se genera pérdidas con el ambiente.

Área horizontal de convección y conducción

Dimensión interior del molde

$$l_a := 0.3 \quad \text{m}$$

Área horizontal de convección

$$A_c := l_a^2$$

$$A_c = 0.09 \quad \text{m}^2$$

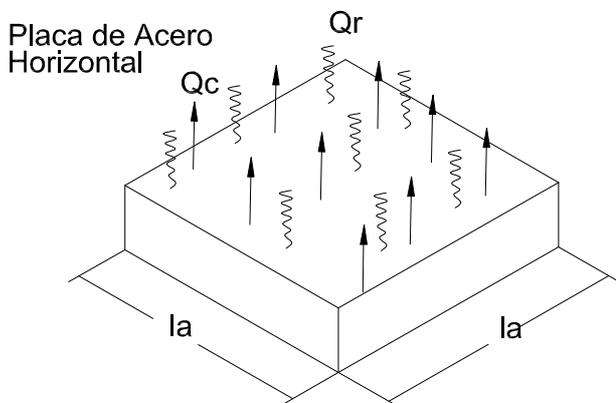


Figura 4.9 Área de convección y radiación

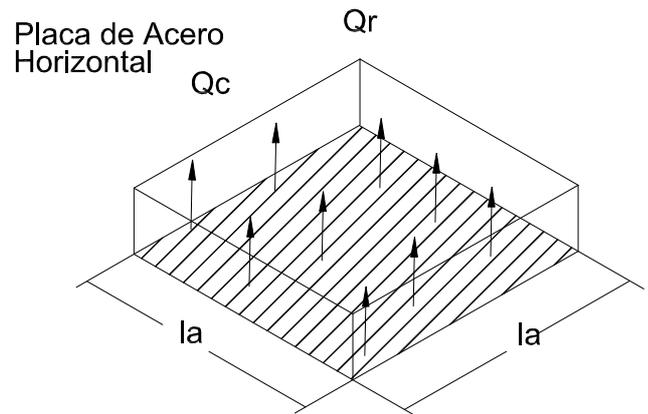


Figura 4.8 Área de conducción

Área vertical de convección y conducción

Alto del plástico prensado

$$L_v := 0.03 \text{ m}$$

Área vertical de convección

$$A_{cv} := L_v \cdot l_a$$

$$A_{cv} = 9 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

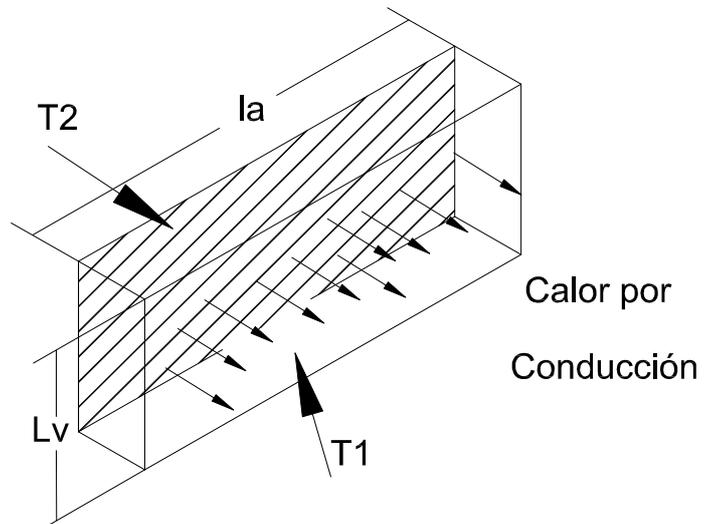


Figura 4.10 Área vertical de conducción

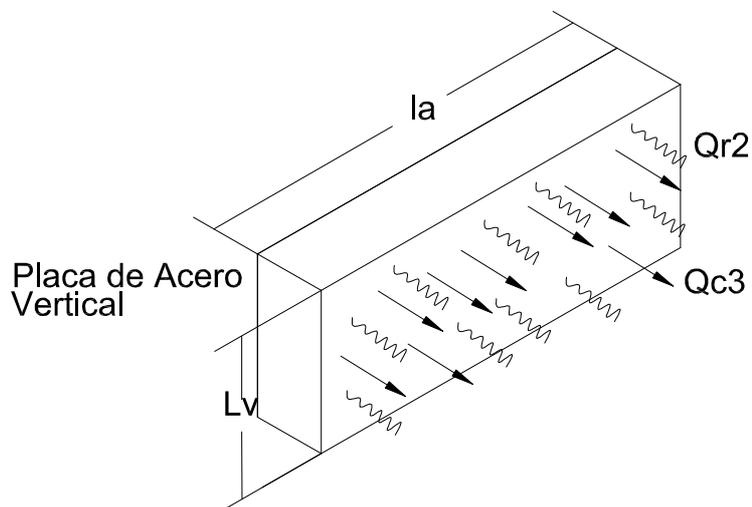


Figura 4.11 Área vertical de convección y radiación

4.1.4. CALOR DE FUSIÓN

Las resistencias eléctricas generan un flujo energía hacia dos direcciones. Una de ellas es la que permite el aumento de temperatura del plástico hasta llevarlo a su estado de reblandecimiento o tal vez a su punto de fusión, dependiendo de la prueba a realizar, para la cual se tiene un control para mantener constante dicha temperatura, hasta lograr que todo el volumen se encuentre en el mismo estado. El otro flujo de calor se da hacia los alrededores, transfiriendo energía primero por conducción, hasta llegar a la superficie exterior, y desde la misma por convección y radiación al ambiente, generando pérdidas.

Elevar la temperatura del material plástico hasta su punto de fusión requiere gran cantidad de energía, por lo que el cálculo de la misma tomará como parámetro la temperatura de fusión del PET (260 C), que posee el punto de fusión mas alto de los termoplásticos a usar.

La energía requerida para la fusión del PET se debe entregar en cierto intervalo de tiempo tal que ayude a la agilidad de la obtención de la placa de plástico en buenas condiciones. El tiempo propuesto para fusionar al polímero es de 10 minutos a partir del instante en que el sistema alcance un flujo de energía hacia el plástico necesario para fundir el mismo en el tiempo estimado, es decir cuando las resistencias eléctricas se establezcan y generen un flujo de energía tal que compense las pérdidas con el ambiente y eleven la temperatura de todo el material. El flujo de energía se lo realizará a temperatura constante, como se mencionó anteriormente, para evitar el polímero se queme y obtener una muestra en excelentes condiciones.

A continuación se detalla el cálculo realizado para obtener el flujo de calor necesario para fundir el plástico en el tiempo deseado.

Masa de Plástico Necesaria

$$m_{\text{pet}} := \frac{\delta\rho \cdot v_p}{1000}$$

$$m_{\text{pet}} = 4.928 \quad \text{Kg}$$

Calor Específico del PET

$$c_{\text{ppet}} := 1200 \quad \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

Temperatura de Fusión del PET

$$T_{\text{fun}} := 260 \quad \text{C}$$

Temperatura Ambiente

$$T_{\text{am}} := 20 \quad \text{C}$$

Calor necesario para elevar la temperatura del plástico a su punto de Fusión

$$Q_{\text{fun1}} := m_{\text{pet}} \cdot c_{\text{ppet}} \cdot (T_{\text{fun}} - T_{\text{am}})$$

$$Q_{\text{fun1}} = 1.419 \times 10^6 \quad \text{Joules}$$

Límite de Tiempo propuesto para elevar la temperatura

$$t_f := 600 \quad \text{seg}$$

$$t_{\text{fmin}} := \frac{t_f}{60}$$

$$t_{\text{fmin}} = 10 \quad \text{min}$$

Flujo de Calor requerido hacia el plástico

$$Q_f := \frac{Q_{fun1}}{t_f}$$

$$Q_f = 2.365 \times 10^3 \quad \text{w}$$

4.1.5. CALOR PERDIDO TOTAL

Las pérdidas de calor en el sistema serán calculadas de acuerdo a las ecuaciones descritas anteriormente para los dos casos de transferencia de calor con el ambiente.

4.1.5.1. Pérdidas por Convección

Cálculo del coeficiente de Convección

Para hallar el valor del coeficiente de convección se necesita considerar variables como:

a) Propiedades del Aire para el cálculo del Coeficiente de convección²

ν	Viscosidad Cinemática
k	Conductividad Térmica
α	Difusividad Térmica
Pr	Número de Prandtl

² Dichas propiedades se las obtiene de tablas a la temperatura media deseada. Incropera Tabla A.4 página 839.

b) Número de Rayleigh

- Variable que depende de ciertas propiedades del aire y del tipo de flujo, sea laminar o turbulento, y se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$Ra = \frac{g \cdot B \cdot (T1 - T2) L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (4.5)$$

Para Flujo Laminar: $Ra \leq 10^9$

T1: Temperatura de pared K

T2: Temperatura ambiente K

g : Gravedad m/s^2

ν : viscosidad cinemática m^2/s

α : difusividad térmica m^2/s

$$B: \frac{1}{\left(\frac{T1 + T2}{2}\right)} \quad K^{-1} \quad (4.6)$$

Para placas verticales

L : alto de la placa m

Para placas horizontales

$$L = \frac{As}{P} \quad (4.7)$$

As: área de la placa

P: perímetro de la placa

c) Número de Nusselt

Para $Ra \leq 10^9$

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (4.8)$$

Coeficiente de Convección: se lo obtiene utilizando la siguiente ecuación.

$$h = \frac{k}{L} \cdot Nu \quad [W/m^2k] \quad (4.9)$$

k : coeficiente de conductividad térmica del fluido

Cálculo de pérdidas por convección³

Propiedades del Aire

A 250 K -27 C

$$v1 := 11.44 \cdot 10^{-6}$$

$$k1 := 22.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha1 := 15.9 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr1 := 0.72$$

³ Las pérdidas por convección son calculadas considerando la temperatura exterior del aislamiento.

A 300 K 27 C

$$v_2 := 15.89 \cdot 10^{-6}$$

$$k_2 := 26.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := 22.5 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_2 := 0.707$$

A 350 K 77 C

$$v_3 := 20.92 \cdot 10^{-6}$$

$$k_3 := 30 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_3 := 29.9 \cdot 10^{-6}$$

$$Pr_3 := 0.7$$

Temperatura Exterior

$$T_{ext} := 76 \quad C$$

Cálculo de la Temperatura media

$$T_m := \frac{T_{ext} + T_{am} + 546}{2}$$

$$T_m = 321 \quad k$$

Interpolación para obtener propiedades del Aire a T_m

$$a := \frac{350 - 300}{350 - T_m}$$

$$v_{ww} := v_3 - \left(\frac{v_3 - v_2}{a} \right)$$

$$v = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$k := k_3 - \left(\frac{k_3 - k_2}{a} \right)$$

$$k = 0.028$$

$$\alpha := \alpha_3 - \left(\frac{\alpha_3 - \alpha_2}{a} \right)$$

$$\alpha = 2.561 \times 10^{-5}$$

$$\text{Pr} := \text{Pr}_2 - \left(\frac{\text{Pr}_2 - \text{Pr}_3}{a} \right)$$

$$\text{Pr} = 0.703$$

Temperatura Media

$$T_m = 321 \text{ K}$$

Número de Rayleigh

Datos obtenidos

$$g := 9.8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k = 0.028 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha = 2.561 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$v = 1.8 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Pr} = 0.703$$

Coefficiente de Expansión

$$B := \frac{1}{T_m}$$

$$B = 3.115 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$$

- Se usarán las ecuaciones que se apliquen para convección libre, debido a que la transferencia de calor será al aire en condiciones ambiente.

Para Placa Vertical

$L_v := 0.03$ m Alto del plástico prensado

$$Ra_{Lv} := \frac{g \cdot B \cdot (T_{ext} - T_{am}) \cdot L_v^3}{\nu \cdot \alpha}$$

$$Ra_{Lv} = 1.001 \times 10^5$$

$$Nu_{Lv} := 0.68 + \frac{0.67 \cdot Ra_{Lv}^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$Nu_{Lv} = 9.817$$

Coeficiente de Convección

$$h_v := \frac{k}{L_v} \cdot Nu_{Lv}$$

$$h_v = 9.115 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Para Placa Horizontal

Área de la Placa

$$A_s := 0.3^2$$

$$A_s = 0.09 \text{ m}^2$$

Perímetro de la Placa

$$\text{Per} := 1.2 \quad \text{m}$$

$$\text{Lh} := \frac{\text{As}}{\text{Per}} \quad \text{m}$$

$$\text{RaLh} := \frac{g \cdot B \cdot (\text{Text} - \text{Tam}) \cdot \text{Lh}^3}{\nu \cdot \alpha}$$

$$\text{RaLh} = 1.565 \times 10^6$$

Superficie Horizontal (Tapa y base)

Nusselt

$$\text{NuLh1} := 0.98 \cdot \text{RaLh}^{\frac{1}{3}} \quad \text{RaLh} < 10^7$$

$$\text{NuLh1} = 113.768$$

Coefficiente de Convección

$$\text{hh1} := \frac{k}{\text{Lh}} \cdot \text{NuLh1}$$

$$\text{hh1} = 42.252 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{k}$$

Cálculo del Calor Perdido por Convección

Área horizontal de convección

$$\text{Ac} := \text{la}^2$$

$$\text{Ac} = 0.09 \quad \text{m}^2$$

En la Tapa y Base

$$\text{Qc1} := \text{Ac} \cdot \text{hh1} \cdot (\text{Text} - \text{Tam})$$

$$\text{Qc1} = 212.95 \quad \text{W}$$

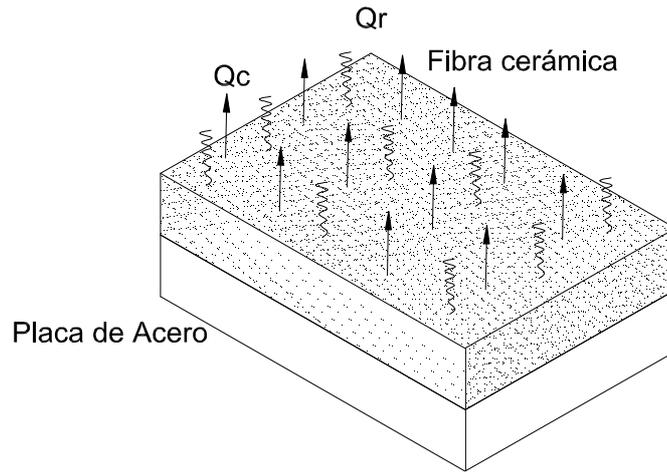


Figura 4.12 Esquema de la pérdida de calor en las superficies horizontales.

En las paredes

Área vertical de convección

$$A_{cv} := Lv \cdot 0.3$$

$$A_{cv} = 9 \times 10^{-3} \quad m^2$$

$$Q_{c2} := A_{cv} \cdot h_v \cdot (T_{ext} - T_{am})$$

$$Q_{c2} = 4.594 \quad w$$

Calor perdido por convección en una pared vertical

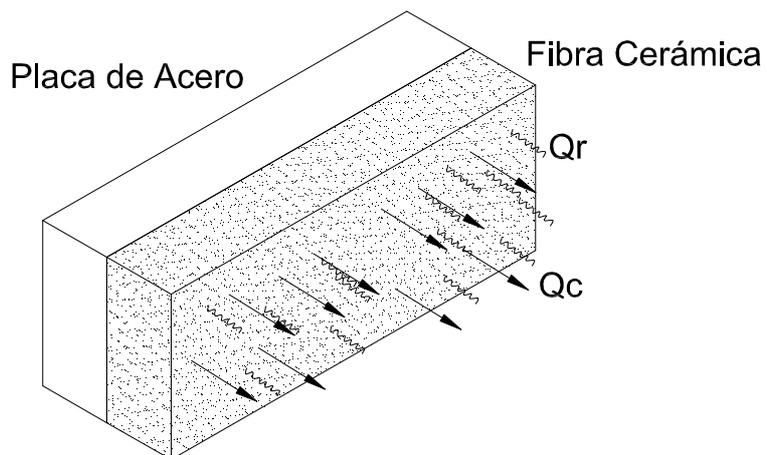


Figura 4.13 Esquema de la pérdida de calor en las superficies verticales.

Teniendo en cuenta las cuatro paredes verticales

$$4 \cdot Q_{c2} = 18.376 \quad w$$

Calor total perdido por Convección

$$Q_c := 2Q_{c1} + 4 \cdot Q_{c2}$$

$$Q_c = 444.275 \quad w$$

4.1.5.2. Pérdidas por Radiación

Cálculo del Calor Perdido por Radiación

Emisividad del Acero

$$\varepsilon_{ac} := 0.22$$

Coficiente de Boltzman

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \quad \frac{w}{m^2 \cdot K^4}$$

En las Placas Horizontales

$$Q_{r1} := \varepsilon_{ac} \cdot A_c \cdot \sigma \cdot (T_{ext}^4 - T_{am}^4)$$

$$Q_{r1} = 0.037 \quad w$$

El área será la misma que la considerada en las perdidas por convección.

En las Placas Verticales

$$Q_{r2} := \varepsilon_{ac} \cdot A_{cv} \cdot \sigma \cdot (T_{ext}^4 - T_{am}^4)$$

$$Q_{r2} = 3.727 \times 10^{-3} \quad w$$

Calor total Perdido por Radiación

$$Q_r := 2Q_{r1} + 4Q_{r2}$$

$$Q_r = 0.089 \quad w$$

Por lo tanto las pérdidas totales de energía hacia el ambiente serán:

Calor Total Perdido al ambiente

$$Q_{Tp} := Q_c + Q_r$$

$$Q_{Tp} = 444.365 \quad w$$

CANTIDAD DE ENERGÍA NECESARIA

- Luego de calcular el calor necesario para fundir el plástico y las pérdidas se puede calcular la energía que deben generar las resistencias eléctricas para lograr la transferencia de calor deseada al sistema de Termopresión.

Del balance de energía mencionado anteriormente se puede obtener dicha energía como se puede ver a continuación:

Balance de Energía

$$P = Q_c + Q_r + Q_f \quad [W] \quad (4.10)$$

Calor Total perdido al ambiente

$$Q_{Tp} = Q_c + Q_r \quad [W] \quad (4.11)$$

Energía generada por las resistencias

$$P := Q_{Tp} + Q_f$$

$$P = 2.81 \times 10^3 \quad w$$

Energía Generada por una Resistencia

$$\frac{P}{2} = 1.405 \times 10^3 \quad \text{w}$$

Como se menciona anteriormente se obtendrá el valor de la resistencia necesaria a partir del Efecto Joule, para lo que se tomo la medida del voltaje ocupado:

$$V := 220 \quad \text{V}$$

Efecto Joule

$$R := \frac{V^2}{\frac{P}{2}}$$

$$R = 34.454 \quad \Omega$$

- Por lo tanto las Resistencias eléctricas tendrán una capacidad aproximada de 1400 w cada una, cuya resistencia será 44.5 Ω . Con este flujo de energía el sistema logrará fundir la masa de plástico o la mezcla de polímeros para obtener una muestra en el menor tiempo posible para su estudio.
- El presente diseño térmico tomo como parámetro la temperatura de fusión del PET (260 C) tomada de catálogos de empresas productoras de este polímero, como es Goodfellow. Esta temperatura permitirá aumentar aún más el calor de fusión, tal que se obtenga una placa de plástico reciclado prensado en el menor tiempo posible. El proceso, en su práctica, no llegará a temperaturas tan elevadas, ya que por experimentos mostrados anteriormente el PET reciclado molido se quemaba al llegar a los 240 C, siendo el punto más crítico para el diseño del equipo.

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO

- El cálculo del espesor de Fibra Cerámica va ser realizado tomando en cuenta el área de las superficie superior del molde (prensa), debido a que ésta tiene mayor transferencia de calor, por tener contacto directo con la resistencia, al igual que el área de la base del molde.

Al considerar una sola resistencia para el cálculo del aislamiento, los valores del balance de energía serán divididos para dos y así obtener un espesor más exacto como se ve en el cálculo siguiente:

Energía requerida para el proceso

$$P := 3000 \quad w$$

Energía entregada por resistencia

$$\frac{P}{2} = 1.5 \times 10^3 \quad w$$

Temperatura Exterior

$$T_{ext} := 80 \quad C$$

Temperatura de Fusión del PET

$$T_{fun} := 260 \quad C$$

Temperatura Ambiente

$$T_{am} := 20 \quad C$$

Temperatura de pared de resistencia

$$TR1 := 265 \quad C$$

Propiedades de la Fibra Cerámica

$$k_{ais} := 0.12 \quad \text{w / m k}$$

$$e_{ais} := 0.03 \quad \text{m}$$

Emisividad del Acero

$$\epsilon_{ac} := 0.22$$

Coefficiente de Boltzman

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \quad \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Coefficiente transferencia de calor por Radiación

$$h_r := \epsilon_{ac} \cdot \sigma \cdot (T_{ext} + T_{am}) (T_{ext}^2 + T_{am}^2)$$

$$h_r = 8.482 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Área de Transferencia de Calor

$$A_t := 0.2 \quad \text{m}^2$$

Coefficiente de Convección

$$h := 42.252 \quad \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \cdot \text{k}$$

Balance de Flujo de Energía considerando una resistencia

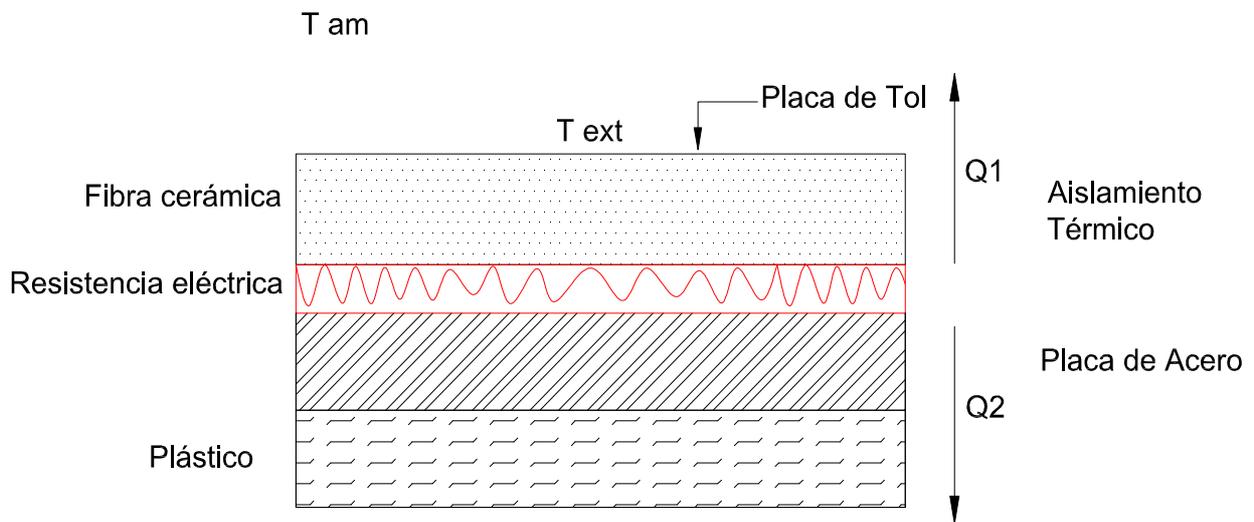


Figura 4.14 Esquema de balance de energía

$$P/2 = Q_1 + Q_2 \quad (4.12)$$

$P/2$: Potencia generada por una resistencia [W]

Q_1 : ~ 50% del Flujo de Calor perdido al ambiente por el área considerada [W]

Q_2 : ~ 50% del Flujo de Calor hacia el material [W]

Utilizando analogía eléctrica Q1 es:

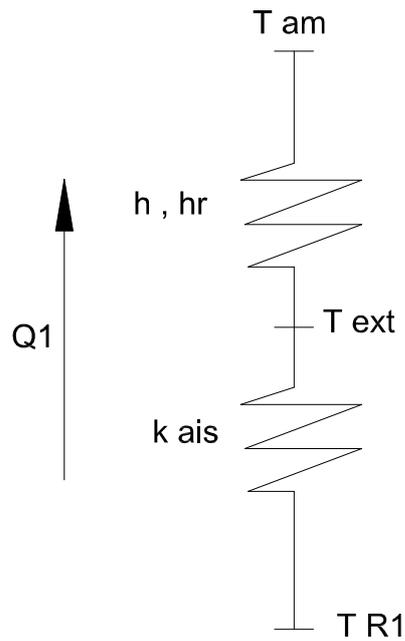


Figura 4.15 Esquema de balance de energía

$$Q1 = \frac{TR1 - Tam}{\frac{Lais}{kais At} + \frac{1}{h At + hr At}} \quad (4.13)$$

Calor de fusión requerido

$Qf := 2.565 \cdot 10^3$ w

Se eleva 200 w al flujo recibido por el plástico debido al aumento de vatios de la resistencia eléctrica

$Q2 := \frac{Qf}{2}$

Calor suministrado por una resistencia directamente al plástico

$Q2 = 1.282 \times 10^3$ w

Reemplazando en el Balance de Flujo de Energía obtenemos:

$$\frac{P}{2} = \frac{TR1 - Tam}{\frac{Lais}{kais At} + \frac{1}{h At + hr At}} + Q2$$

, y se despeja el espesor de aislamiento Lais:

$$Lais := At \cdot kais \cdot \left(\frac{TR1 - Tam}{\frac{P}{2} - Q2} - \frac{1}{h \cdot At + hr \cdot At} \right)$$

$$Lais = 0.024 \quad m$$

- Entonces el espesor mínimo a colocar de aislante va a ser de 25.4 mm, debido a sus especificaciones comerciales mostradas anteriormente.
- Los cálculos de la potencia de las resistencias requerido para la Termopresión de material plástico dieron como resultado 2800 W, flujo de energía que permitirá fundir 5 kilogramos de PET a partir de que la transferencia de calor se estabilice, teniendo un proceso capaz de cumplir con los requerimientos tales para obtener una muestra de la mezcla de polímeros a estudiar en excelentes condiciones. Por otro lado la fabricación de los calefactores permitió instalar mayor capacidad de energía, tanto en la parte superior como inferior, aumentando la potencia a entregar al material a 3000 w, ya que las dimensiones del área donde van estar funcionando la resistencias ayudaron a almacenar más cantidad de serpentín calefactor, aprovechando el material adquirido.

- Este aumento de potencia no significó un incremento en el costo de fabricación y permitió aumentar la cantidad de calor transferido, lo que disminuye el tiempo de fusión de la mezcla y el tiempo de obtención de las probetas, agilizando el desarrollo del proyecto.

Características de la Resistencia

Longitud de Espiral Tubular

les := 132 cm

Resistencia

$$\text{Ohmios} := \frac{V^2}{1500}$$

Ohmios = 32.267 Ω

4.2. MECÁNICO Y ESTRUCTURAL

4.2.1. ESPECIFICACIONES DE CARGA

El sistema de termopresión requiere una estructura que brinde la confiabilidad para compactar el plástico reciclado dentro del molde, para obtener una placa con los parámetros de temperatura y presión especificados.

La estructura metálica poseerá la capacidad necesaria para soportar satisfactoriamente las cargas a las cuales será sometida en el proceso de compactación, al igual tolerará la dilatación por efecto de la elevada temperatura.

La estructura propuesta a continuación será un prototipo a ser analizado en condiciones críticas de funcionamiento, para su posterior aceptación al cumplir con los factores de seguridad, que permitan tener un diseño confiable.

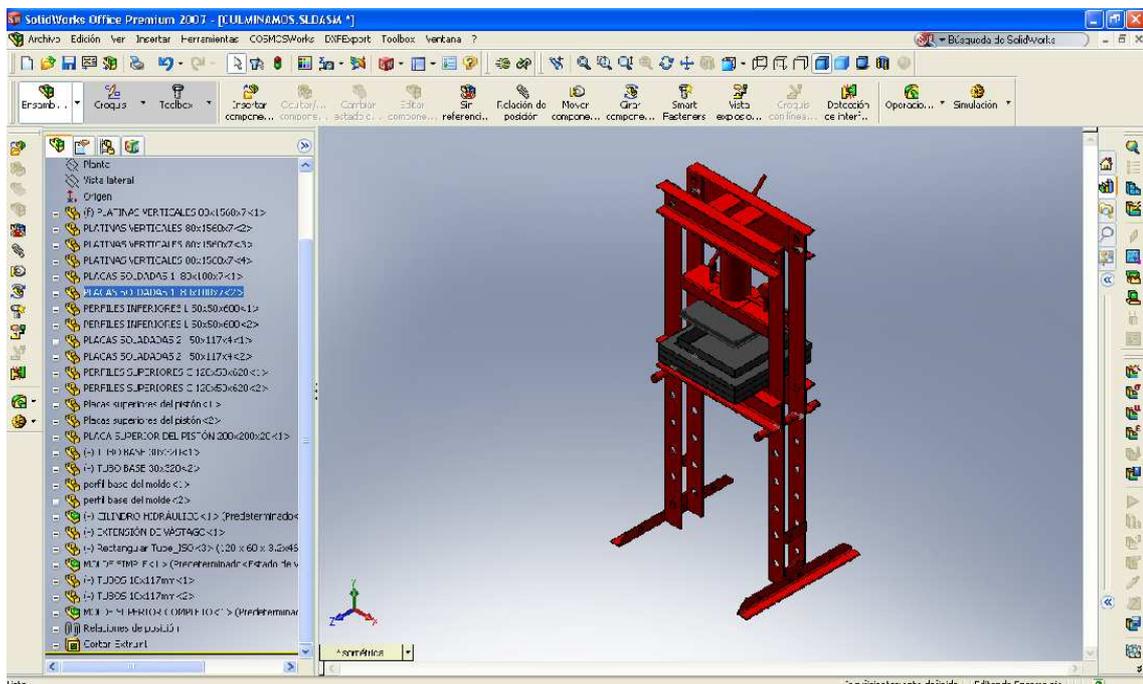


Figura 4.16 Estructura de la Termoprensa de plástico reciclado

Por antecedentes de estudios realizados con polímeros en procesos similares la carga de compactación máxima recomendada es de 10 toneladas, con la cual se realiza el diseño de la estructura propuesta, ya que con esta carga se desea generar una muestra para su estudio y posterior comparación con placas sometidas a una carga menor.

Para el diseño de los elementos que conforman la termo prensa de moldeo de plástico, se usó el software computacional SolidWorks, con el cual se detallarán a continuación la modelación de los elementos.

Calculamos la presión en el cilindro hidráulico ejerciendo una fuerza de 10 ton., aplicadas sobre el pistón de 3,5" de diámetro, la cual será identificada en el manómetro, y así se calculará el valor de la presión en la matriz con las mismas 10 toneladas para un área de 900 mm^3 .

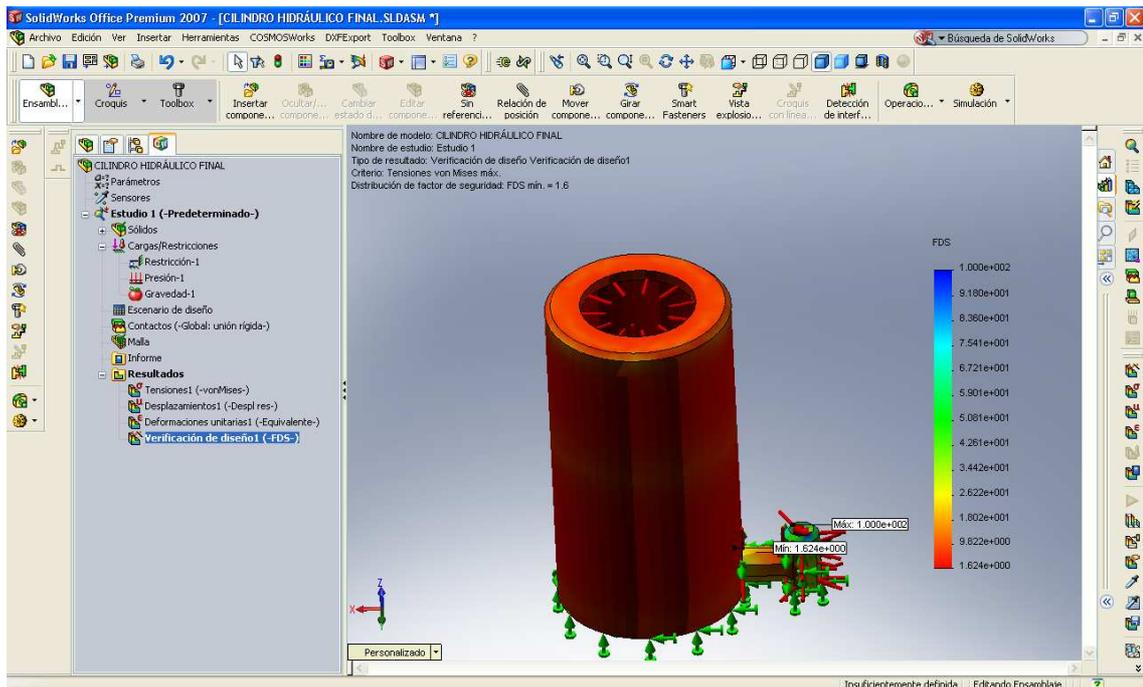


Figura 4.17 Verificación de diseño en el cilindro hidráulico

Los cálculos realizados son en el sistema inglés debido a que las unidades que se presentan en el manómetro son en PSI, esto se debe a que los manómetros más usuales utilizan el sistema inglés.

Cálculo de la Presión en el Cilindro Hidráulico.

Fuerza Necesaria para compactar el plástico (10 TON)

$$F := 20000 \quad \text{lb}$$

Diámetro del Pistón

$$dpis := 3.5 \quad \text{plg}$$

Área del transversal del Pistón

$$At := \pi \cdot \frac{dpis^2}{4}$$

$$At = 9.621 \quad \text{plg}^2$$

Presión en el Cilindro Hidráulico

$$P1 := \frac{F}{At}$$

$$P1 = 2.079 \times 10^3 \quad \text{psi}$$

Cálculo de la Presión en la matriz.

Área de la Matriz

$$Am := \frac{900}{2.54^2}$$

$$Am = 139.5 \quad \text{plg}^2$$

Presión en la Matriz

$$P2 := \frac{F}{Am}$$

$$P2 = 143.369 \quad \text{psi}$$

Cálculo de la Presion en el Dispositivo Móvil

Área de Presión

$$Apre := \pi \cdot \left(\frac{63.5}{25.4 \cdot 2} \right)^2$$

$$Apre = 4.909 \quad \text{plg}^2$$

Presión en la Matriz

$$Pm := \frac{F}{Apre}$$

$$Pm = 4.074 \times 10^3 \quad \text{psi}$$

4.2.2. DISEÑO MECÁNICO DEL MOLDE

Para la verificación del diseño y selección de los materiales se utilizó CosmosWorks, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

En la figura de la matriz se muestra la colocación de la presión, temperatura y restricciones.

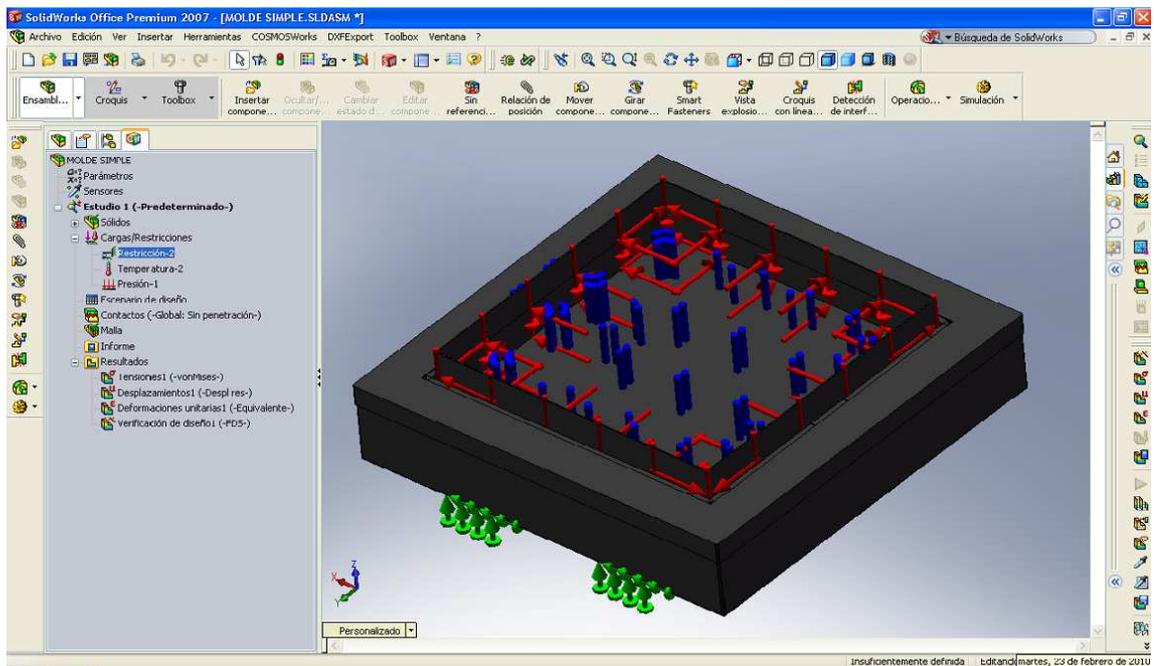


Figura 4.18 Matriz

A continuación se muestra la temperatura crítica para el PET de 230 °C con la cual inicia la fusión del material. Esta temperatura es utilizada como factor de diseño para la matriz.

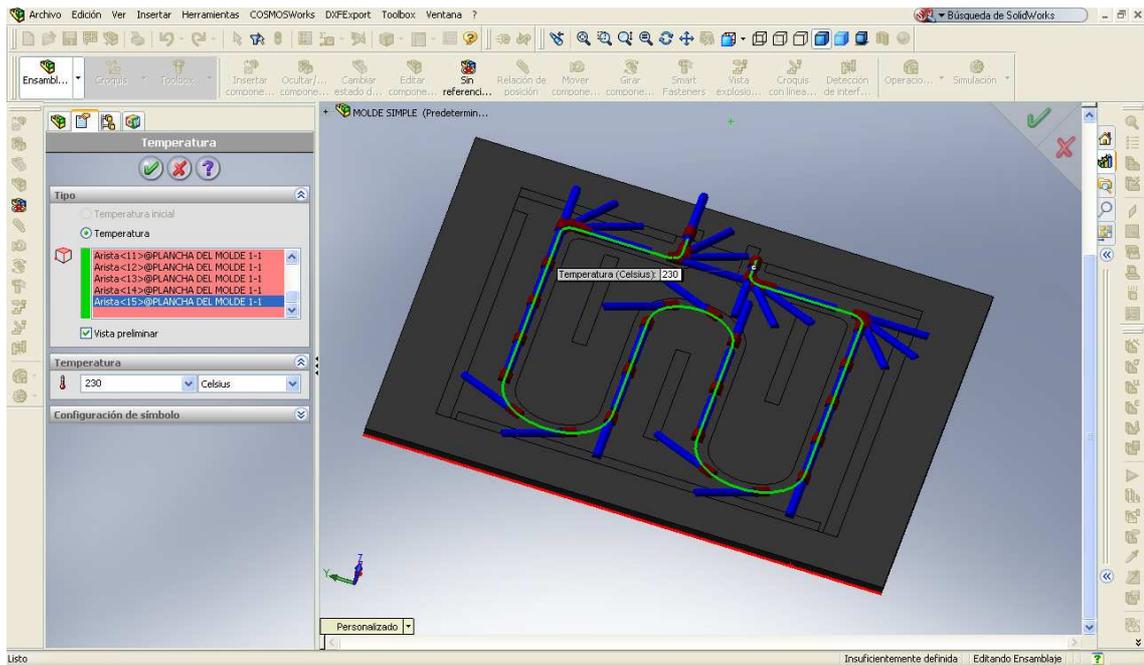


Figura 4.19 Temperatura aplicada sobre la placa inferior

El molde será sometido a una presión de 143,4 Psi, en toda la superficie de la pared inferior y la mitad de la superficie inferior de las cuatro paredes laterales debido a que la máxima presión se efectúa al alcanzar un espesor de 3 cm en la placa de plástico como se observa en el siguiente cálculo.

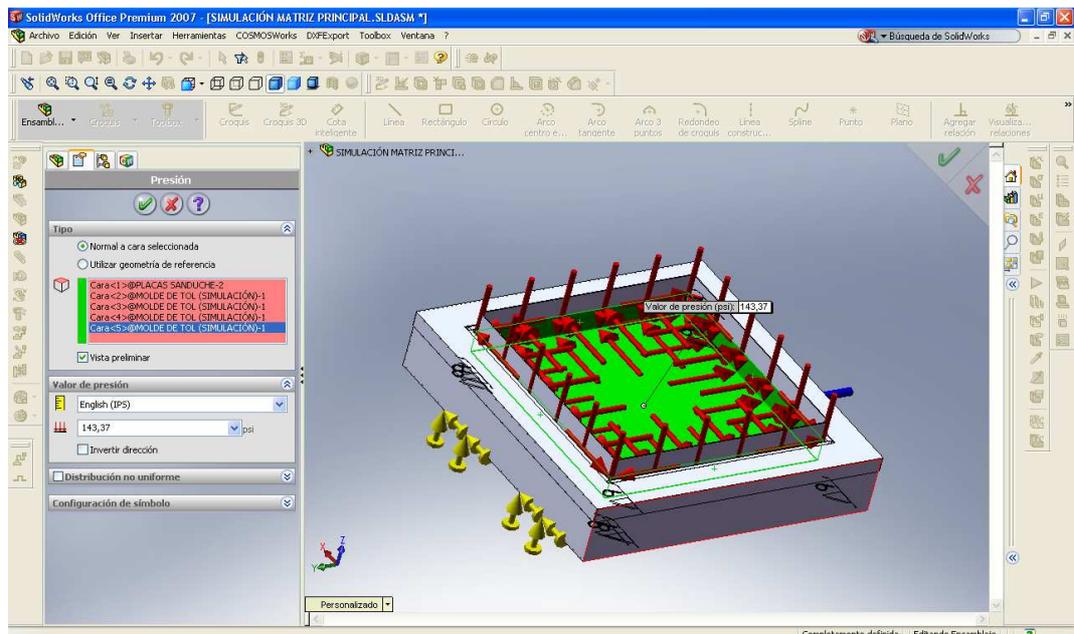


Figura 4.20 Presión aplicada sobre la matriz

Las dos restricciones se sitúan en la zona inferior de la matriz las cuales se generan por el contacto y sujeción a través de pernos entre las placas de soporte, la cubierta de tol y los perfiles de soporte, se selecciono fijo ya que no se generan momentos debido a la sujeción.

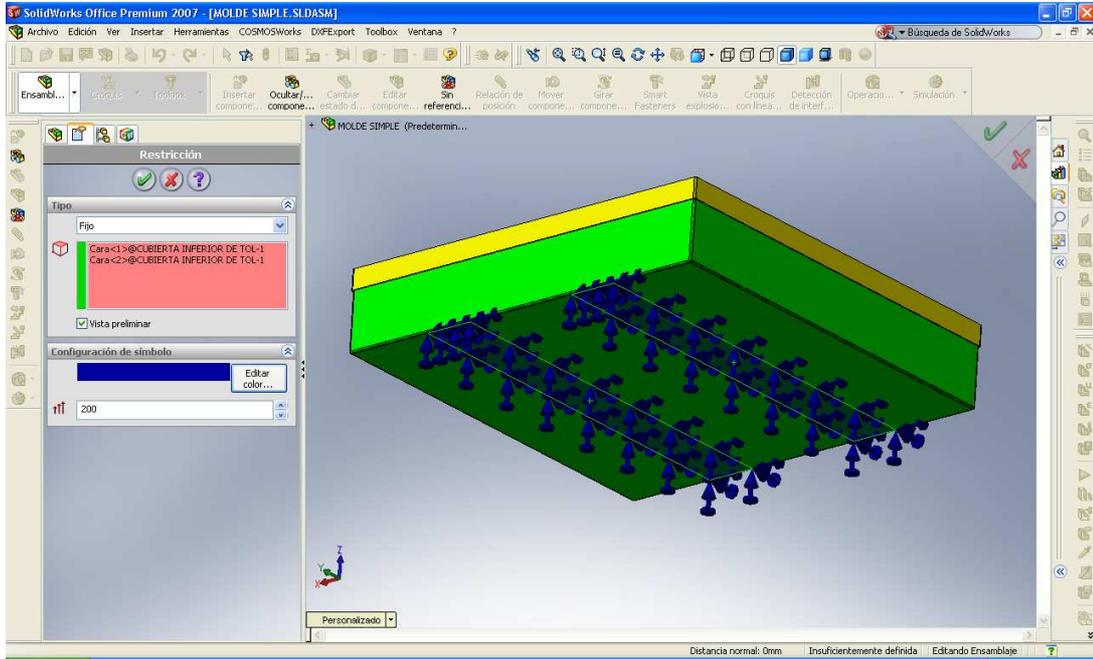


Figura 4.21 Restricciones aplicadas en la matriz

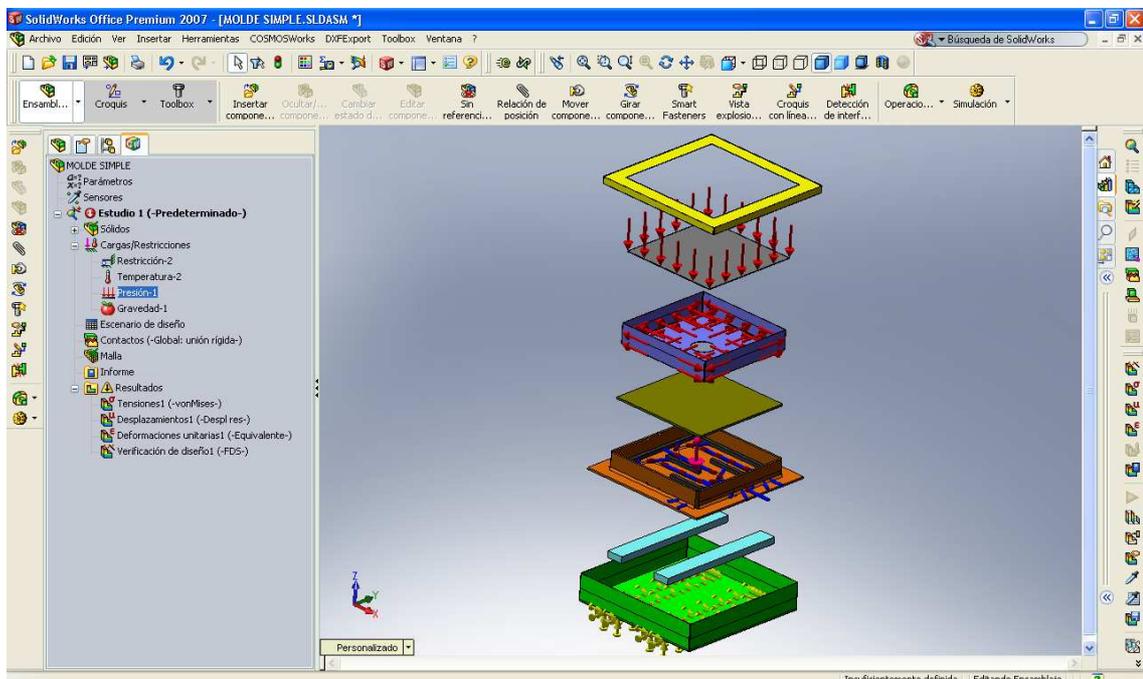


Figura 4.22 Temperatura-Presión-Restricciones y Gravedad en la Matriz

Se obtiene un factor de seguridad de 1,2 bajo condiciones críticas a una carga de 10 toneladas y una temperatura de 230 °C, con lo que se verifica el factor de diseño.

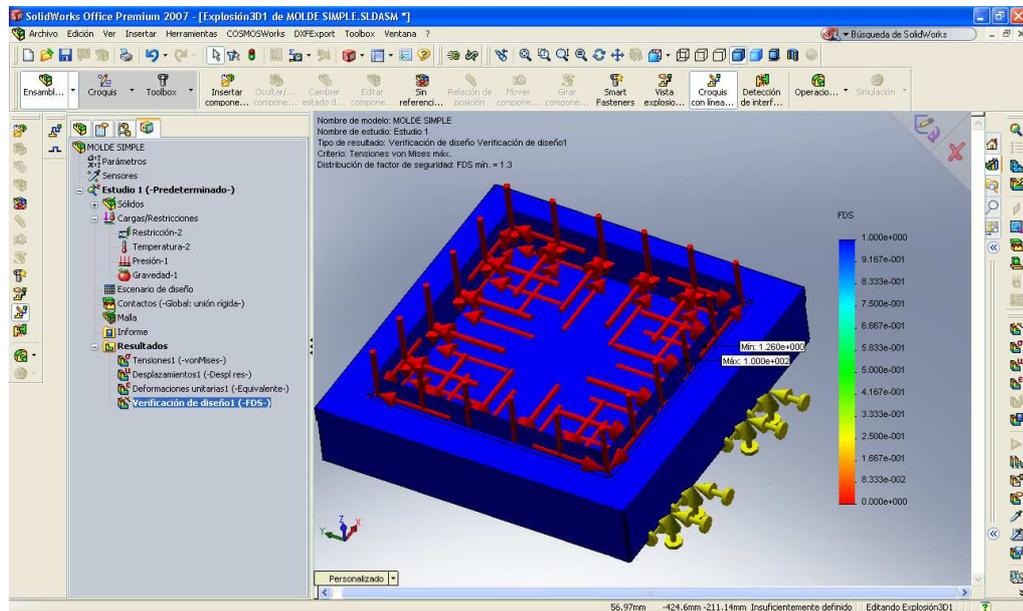


Figura 4.23 Verificación de Diseño de la Matriz

De igual manera se presenta la presión en la placa superior que desciende en el momento que se genera presión en el interior del cilindro hidráulico, a continuación se muestra el cálculo de la presión aplicada.

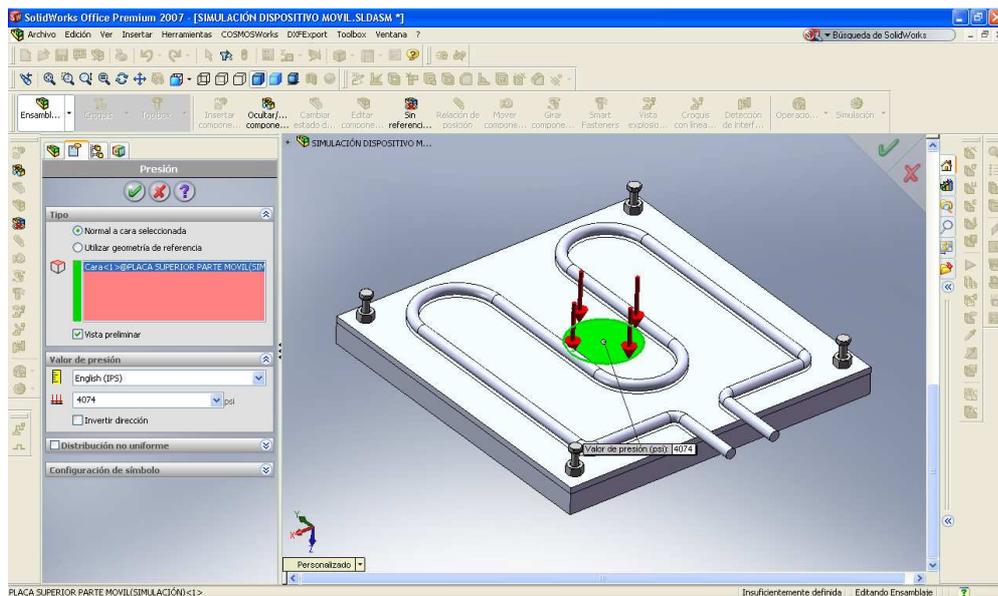


Figura 4.24 Presión aplicada sobre la placa superior

La temperatura generada por la niquelina superior es similar a la inferior de 230 °C, con la cual se desea adquirir una mezcla uniforme en todos sus puntos.

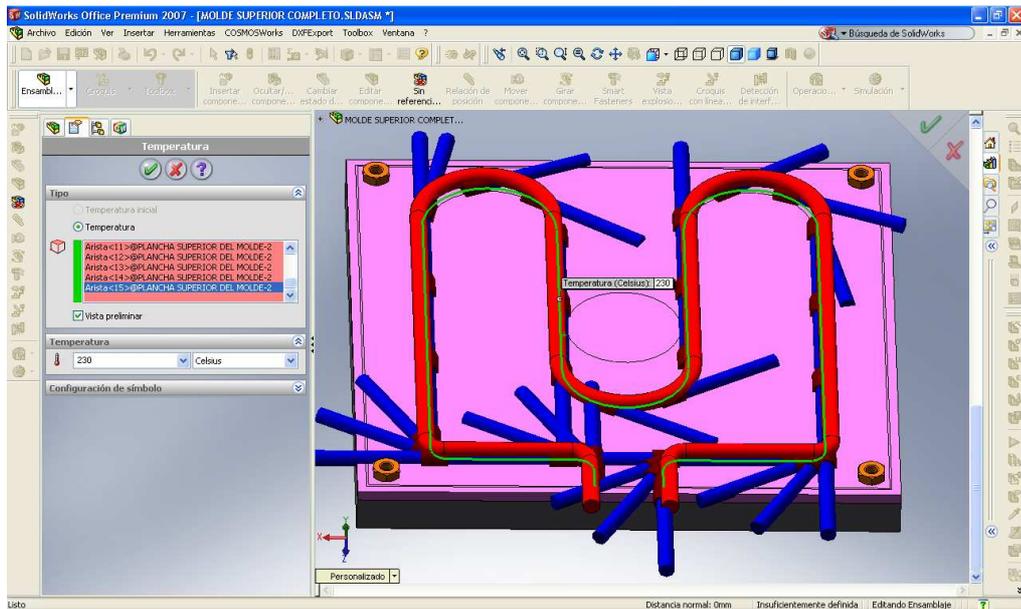


Figura 4.25 Temperatura aplicada sobre la placa superior

En la tapa del molde la restricción que se presenta se debe a la resistencia que ejerce el plástico a ser comprimido, la cual abarca toda la superficie inferior de la placa de refuerzo, en la cual se seleccionó fijo ya que no se crean momentos.

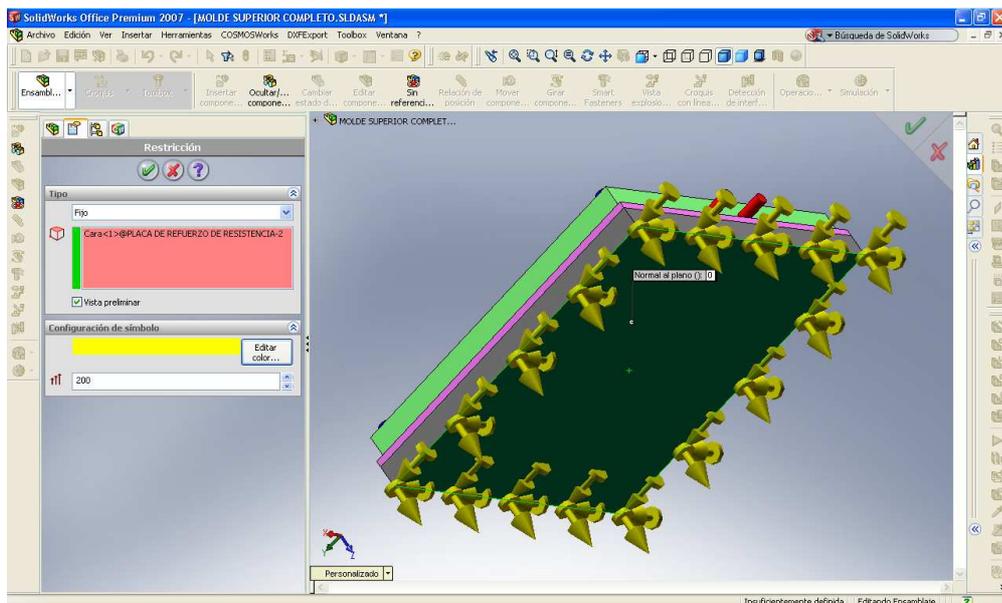


Figura 4.26 Restricciones en la placa superior

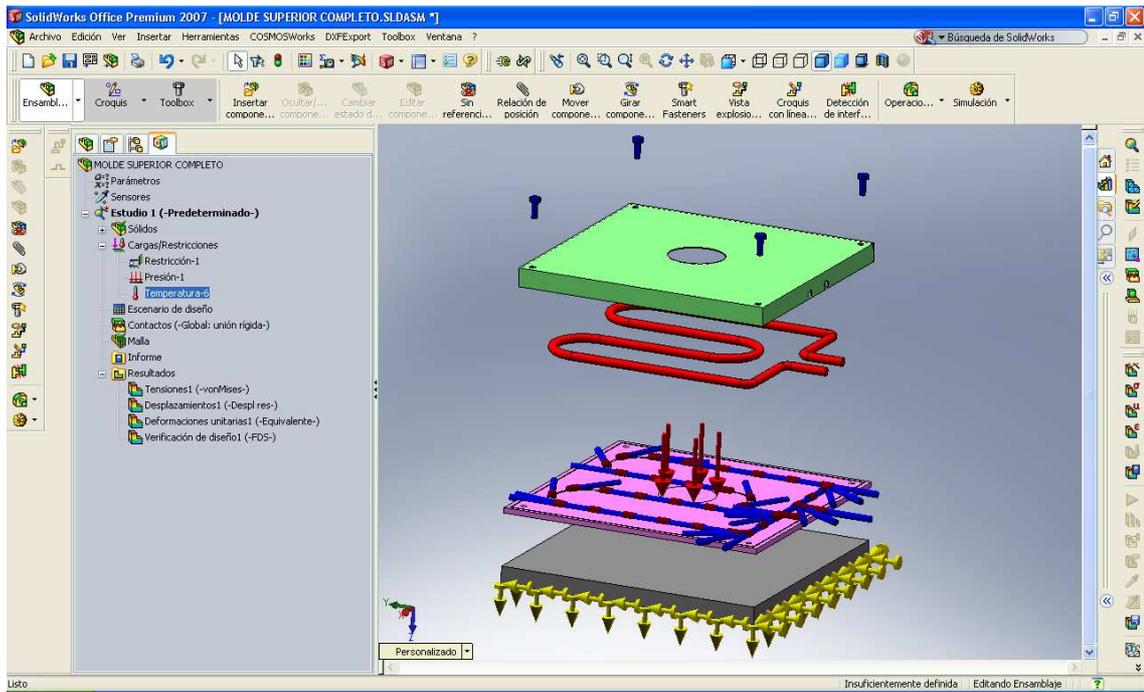


Figura 4.27 Presión-Temperatura - Restricciones en la placa superior

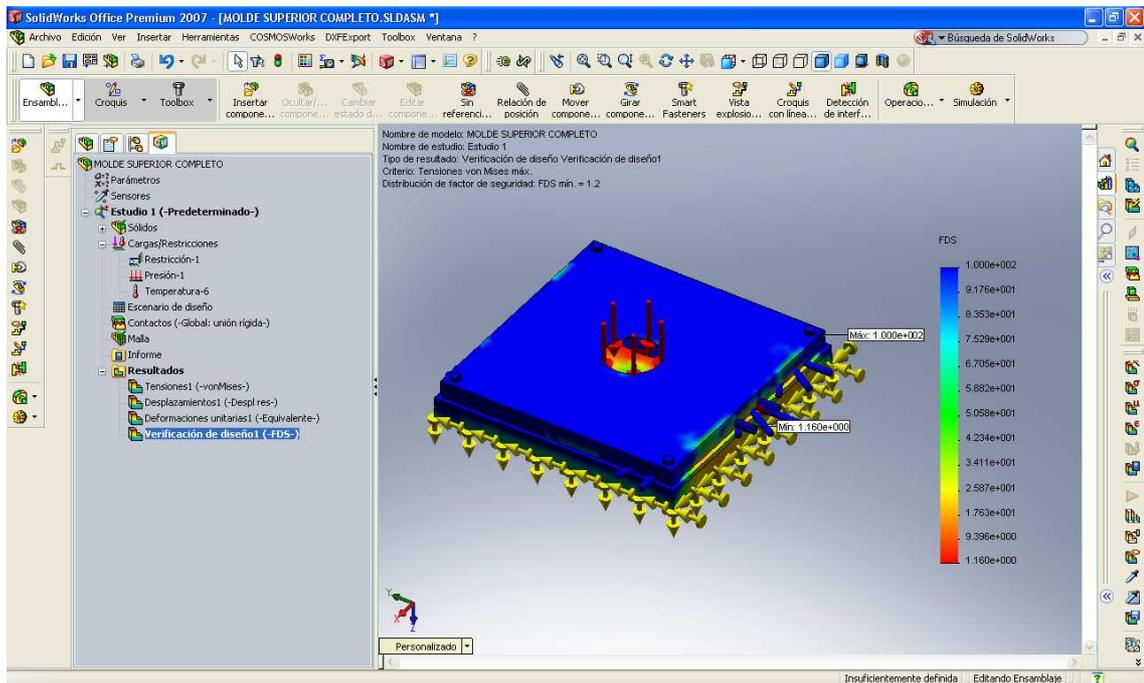


Figura 4.28 Verificación de diseño de la placa superior

4.2.3. SOPORTES ESTRUCTURALES

El equipo está formado por una estructura metálica de acero ASTM A36, la cual contiene:

- Un cilindro hidráulico de 15 ton. de capacidad.
- Un manómetro de 5000 Psi de alcance.
- Cuatro platinas verticales realizando la función de columnas de 1560x80x8 mm.
- Cuatro perfiles C 120x620x50x5,50, dos en la zona superior y dos en la intermedia.
- Una placa de 200x200x20 mm para el apoyo del vástago del cilindro hidráulico.
- Dos pines de sujeción del la matriz de 320x30.
- Dos resortes para el retorno a la posición inicial del cilindro.
- Dos platinas de 118x80x8mm, colocadas sobre el gato, encargadas de unir los perfiles C superiores.
- Dos varillas circulares de 10 mm de diámetro, utilizadas para la sujeción de cada resorte.
- Cuatro placas soldadas en las platinas verticales de 102x80x8 mm.
- Dos perfiles L 600x50x50x4 mm, para equilibrio de la estructura.
- Dos platinas inferiores de 262x20x8mm.
- Dos platinas inferiores de 80x80x8mm.
- Dos platinas de 50x118x8mm.
- Cuatro pernos de M12x20, situados en la sujeción de las platinas inferiores.
- Dos pernos M20x25 encargados de fijar las platinas verticales con los perfiles C Superiores.

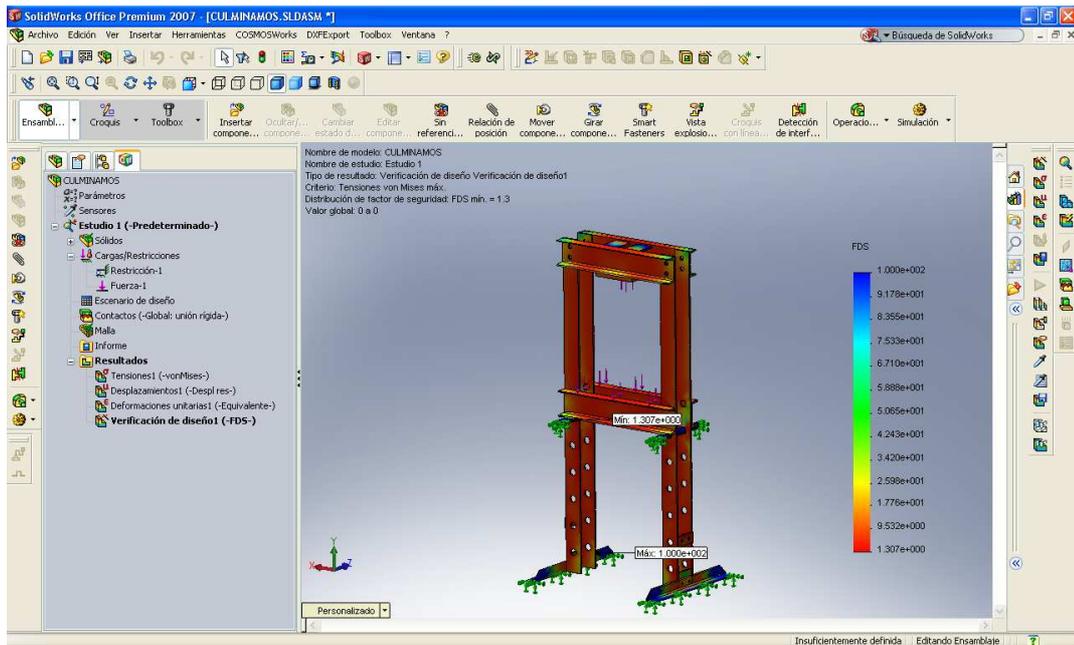


Figura 4.29 Verificación del diseño de la estructura metálica

4.2.4. CONEXIONES SOLDADAS Y EMPERNADAS

El armazón superior es un punto crítico al momento de la aplicada carga, por lo que se ve necesario el análisis de las juntas soldadas y empernadas.

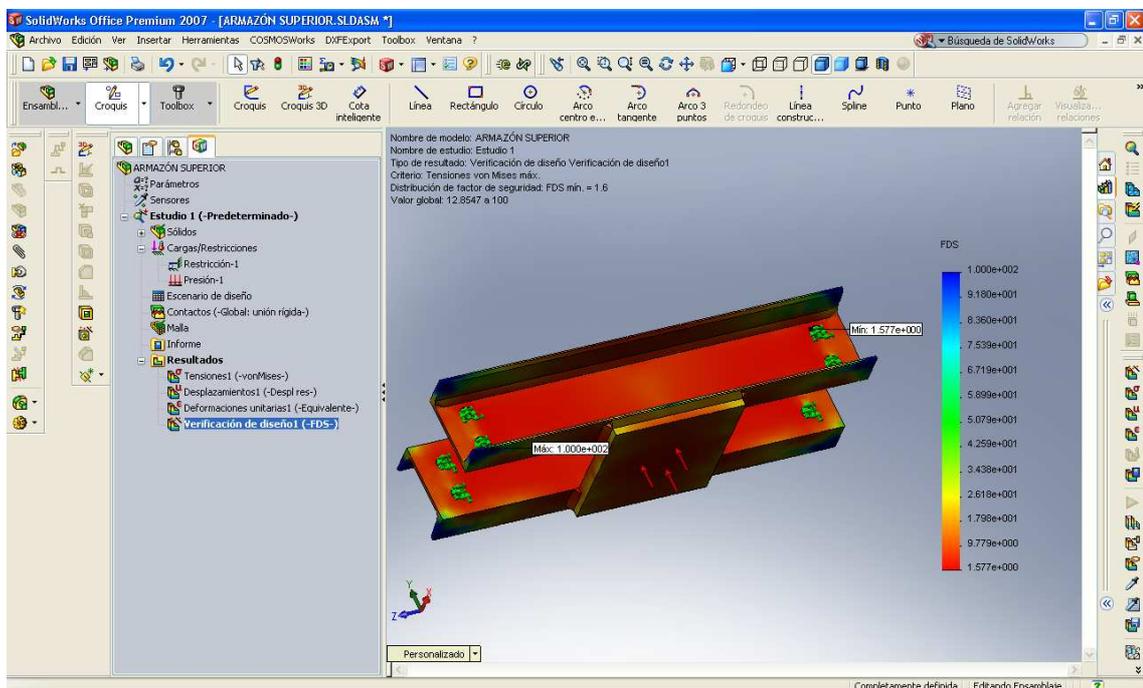


Figura 4.30 Verificación del diseño de la soldadura en el armazón superior

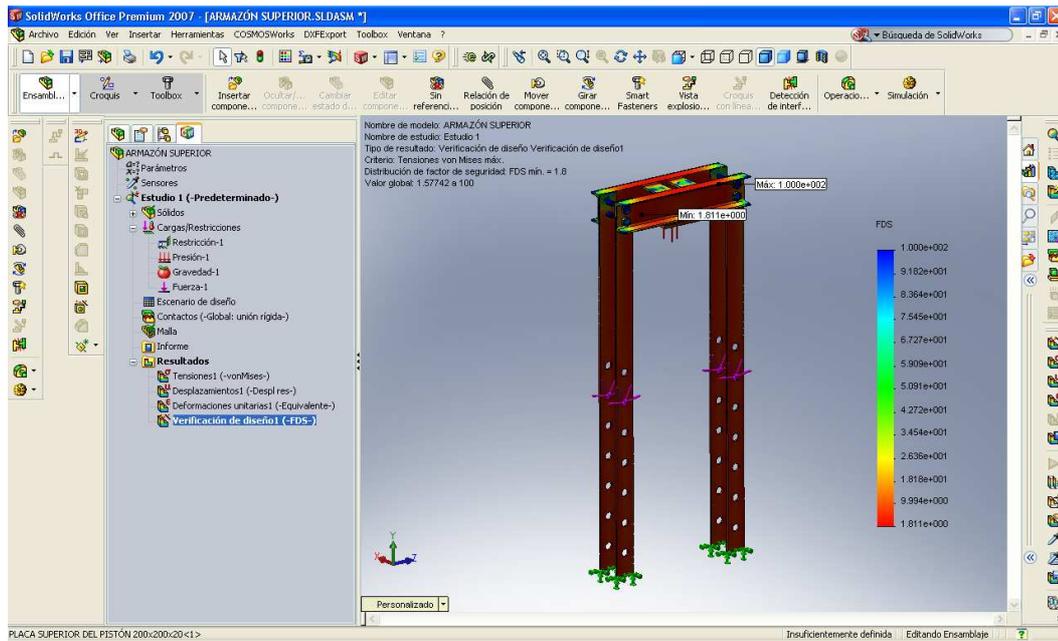


Figura 4.31 Verificación de diseño en juntas empernadas

4.2.5. SELECCIÓN DE MATERIALES

A continuación se muestra las propiedades del acero ASTM A36 utilizadas para el diseño estructural y matriz, las cuales se encuentran formadas por laminas de tol, perfiles estructurales, platinas y pernos.

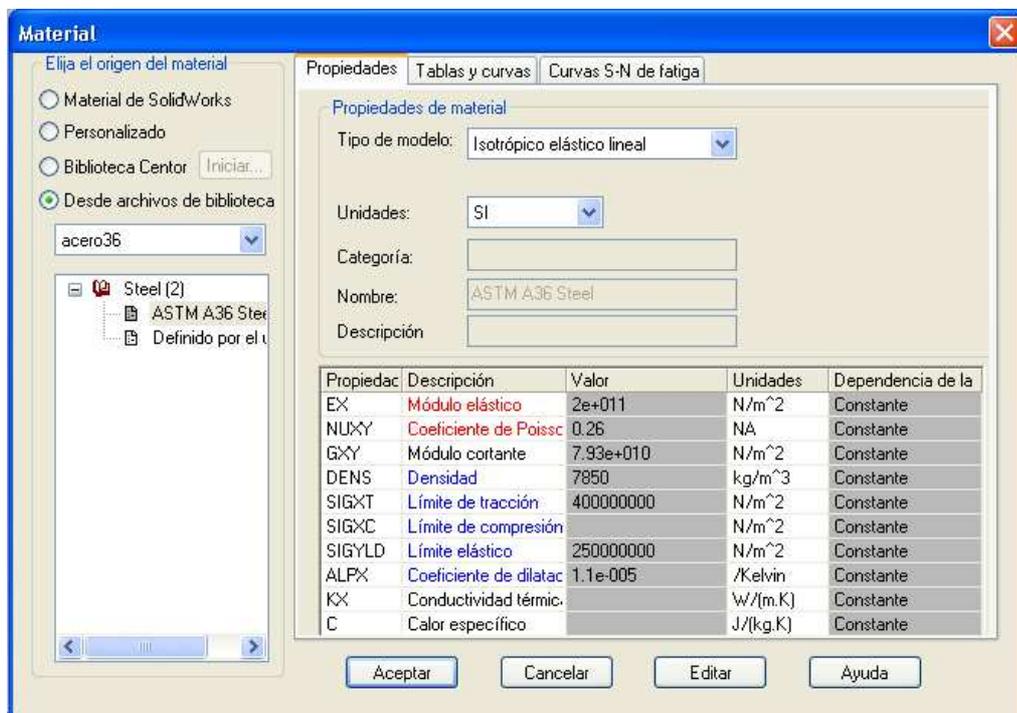


Figura 4.32 Propiedades del Acero ASTM A36

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 DIAGRAMA DE PROCESO

5.1.1. PASOS DE FABRICACIÓN DE LOS SOPORTES DE LA MATRIZ

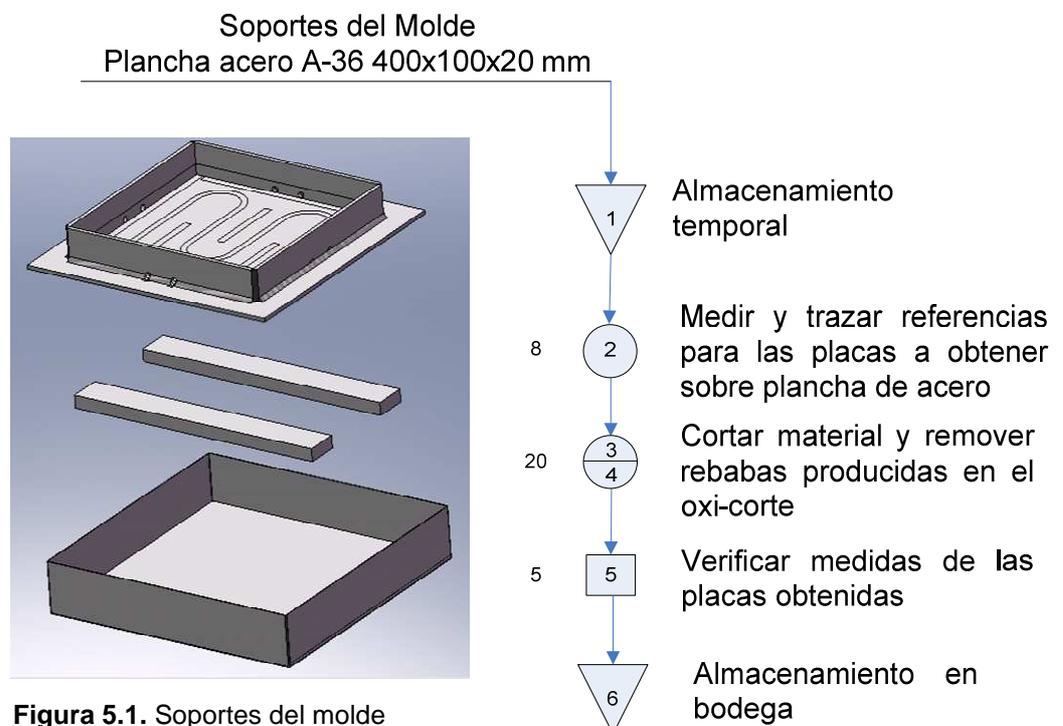


Figura 5.1. Soportes del molde

5.1.2. PASOS DE FABRICACIÓN DEL MÓDULO MÓVIL

Módulo Móvil,
plancha de tol de 350x350x 1.1 mm

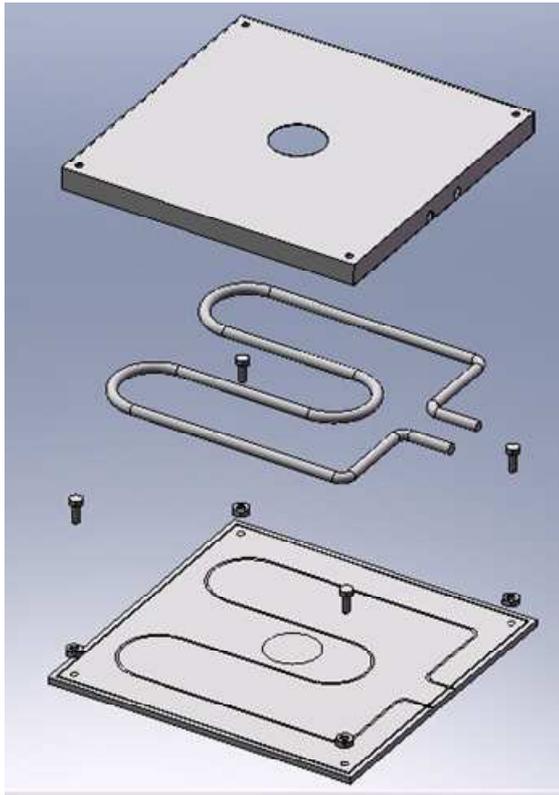


Figura 5.2. Módulo móvil

- 15 ① Medir y trazar referencias de la cubierta
- 20 ② Cortar material
- 30 ③/④ Doblado y perforaciones del material según referencias
- 5 ⑤ Verificar medidas de la cubierta
- 20 ⑥/⑦ Limpiar y Pintar
- 10 ⑧ Medir y trazar referencias para resistencia eléctrica
- 20 ⑨ Doblado de resistencia eléctrica: tubo 3/8"
- 3 ⑩ Ensamble con Placa superior y resistencia
- 8 ⑪ Colocación de aislante térmico
- 12 ⑫ Ensamblaje con pernos 1/4" a la cubierta de tol
- ⑬ Almacenamiento en bodega

5.1.3. PROCESO PARA MANIPULAR EL AISLANTE TÉRMICO

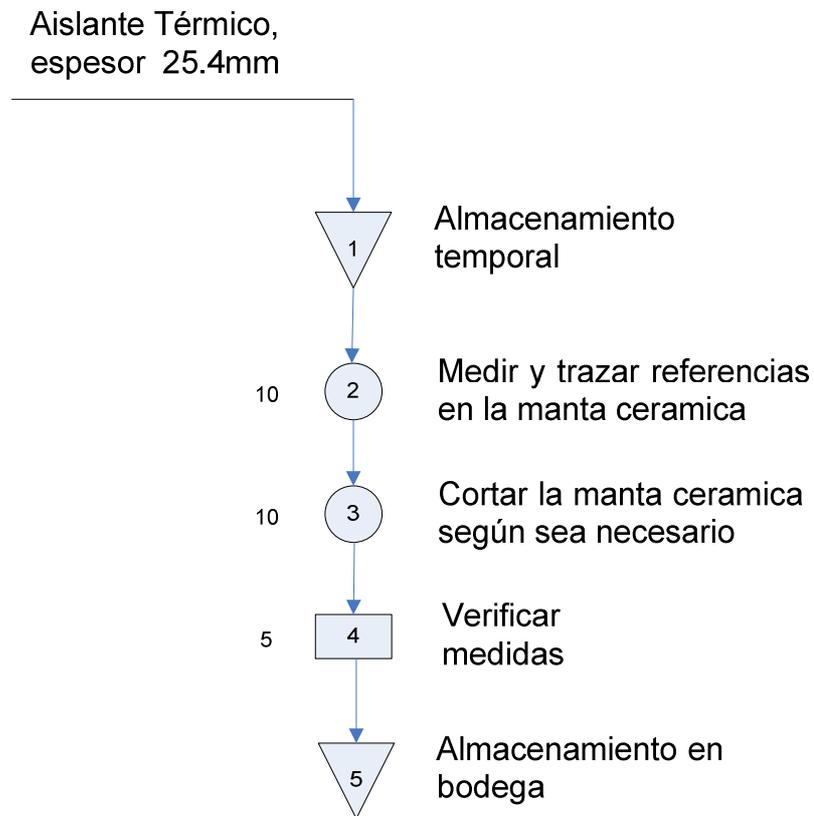


Figura 5.3. Aislante térmico

5.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUBIERTA INFERIOR

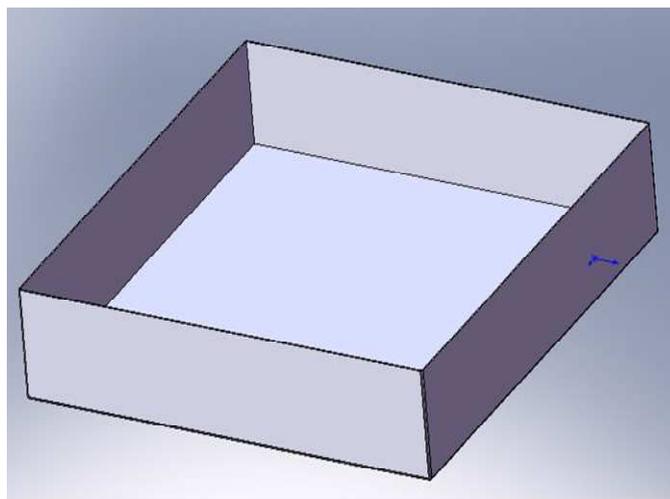
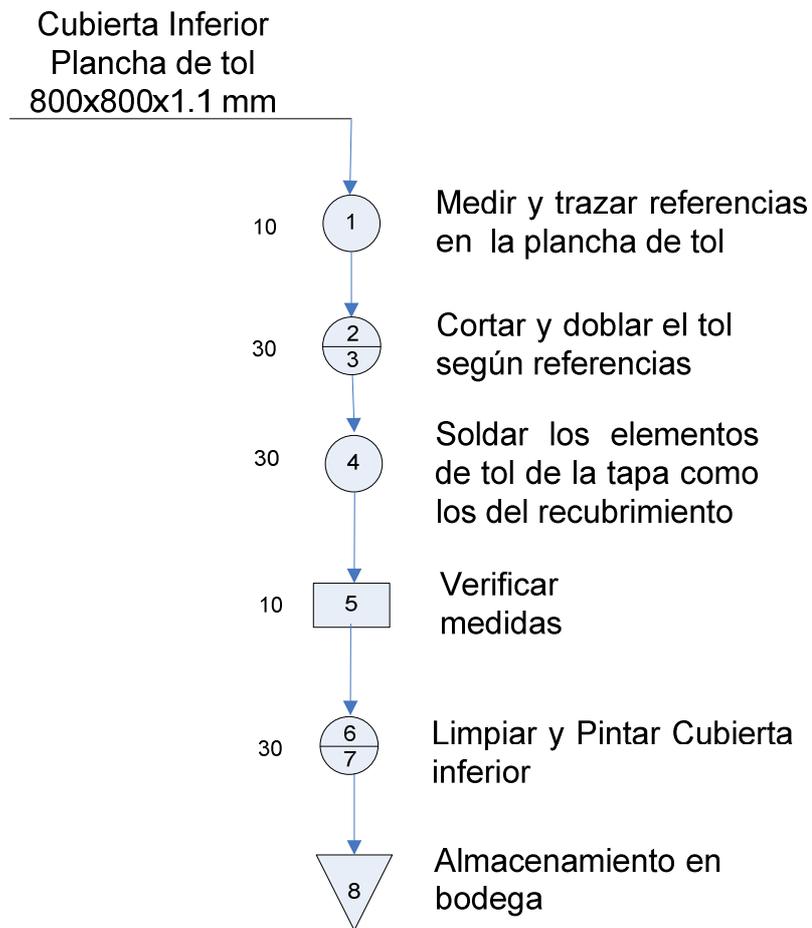


Figura 5.4. Cubierta inferior

5.1.5. PASOS DE FABRICACIÓN DEL MOLDE Y PLACA SUPERIOR

Molde: paredes, bases y placa superior
plancha de acero A-36 de 700 x 600 x 6 mm

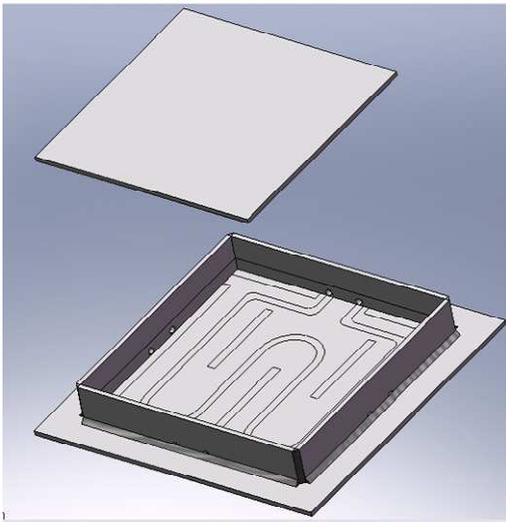


Figura 5.5. Molde y placa superior

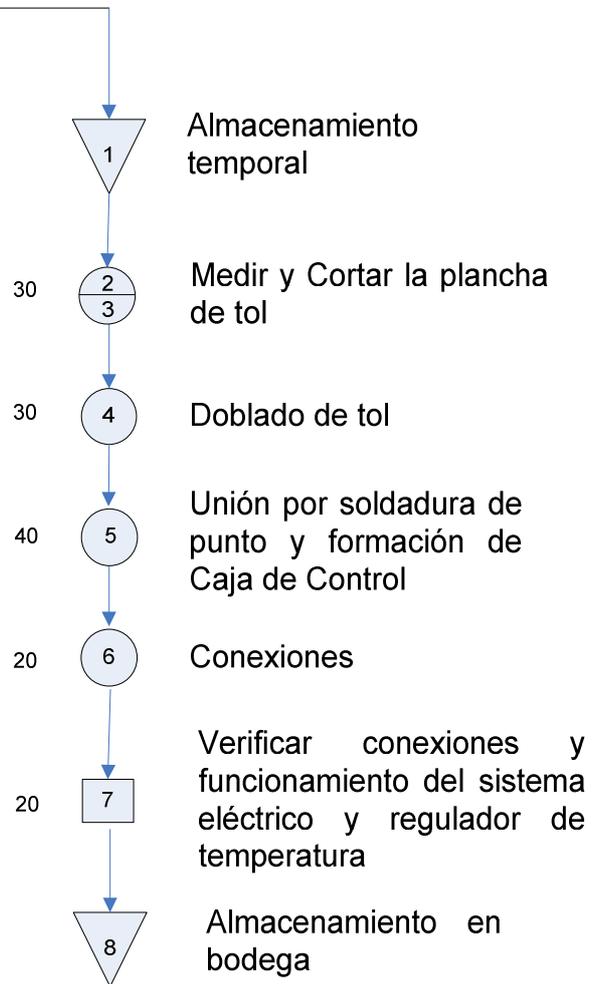
- 30 (1) Medir y trazar referencias de las paredes, bases y placa superior del molde.
- 30 (2) Cortar material de cada uno de los elementos siguiendo las referencias
- 15 (3/4) Verificar medidas de cada elemento del molde y remover rebabas.
- 10 (5) Lijado de los elementos
- 45 (6) Soldar los elementos del molde con excepción, obviamente de la placa superior y la base móvil.
- 30 (7) Soldar tuercas hexagonales tipo ISO 4032 y perno 1/2" a placa superior
- 10 (8) Cepillado de la soldadura para remover partículas de suelta
- 30 (9) Pintar el molde, la base móvil y placa superior
- 30 (10) Montaje del molde, la resistencia inferior y su base
- (11) Almacenamiento en bodega

5.1.6. PASOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y REGULADOR DE TEMPERATURA

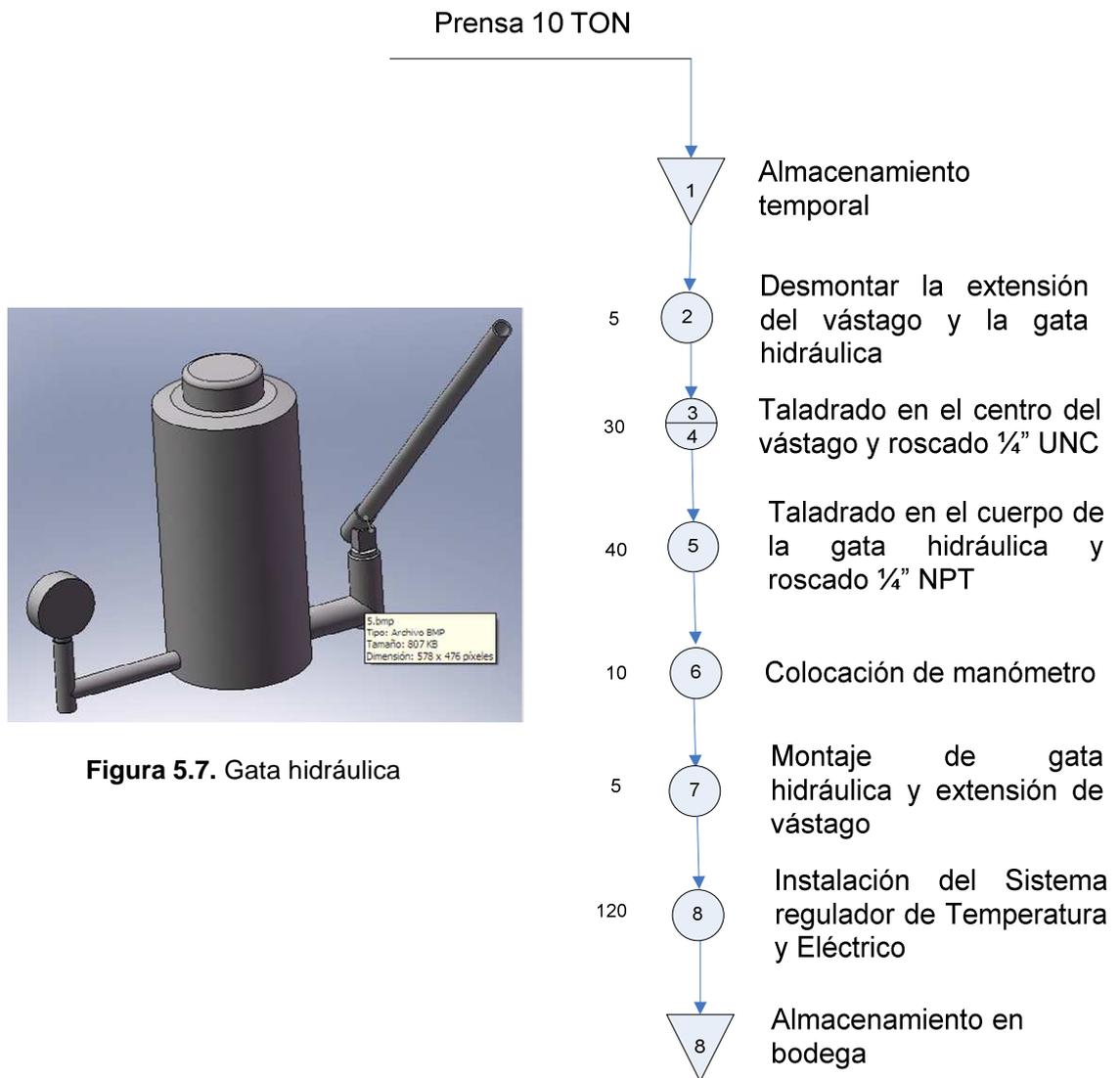
Sistema Eléctrico
 Plancha acero 500x550x1.1 mm, Braker 20A,
 Contactor 220V, Interruptor, Luz Piloto,
 Termocupla J y Regulador de Temperatura Digital



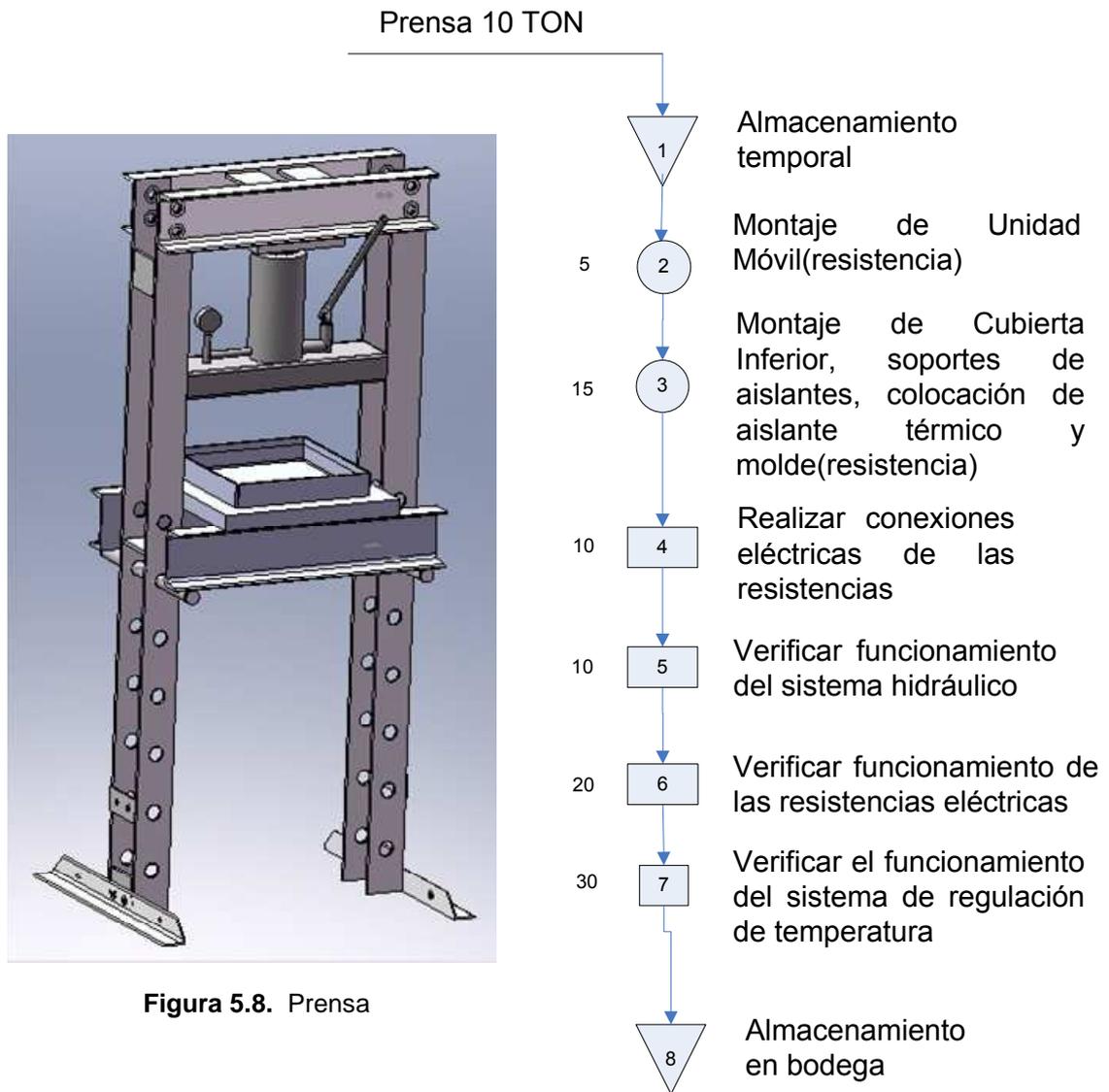
Figura 5.6. Mando eléctrico



5.1.7 PASOS PARA ADAPTAR COMPLEMENTOS A LA PRENSA
 HIDRÁULICA



5.1.8 PASOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PRENSA



5.2 PLANOS DE FABRICACIÓN

En los planos adjuntos se indica detalladamente los diversos elementos de los cuales está compuesto el sistema de moldeo de plásticos reciclados

Ver ANEXO PLANOS

5.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

5.3.1. EQUIPOS

- **Soldadora eléctrica de arco para electrodo (SMAW)**, Voltaje 220V: permitió unir piezas como las paredes del molde, formar la caja de revestimiento del aislante térmico, fijar la placa de unión a los perfiles, etc.
- **Máquina de Oxi-Corte**: se obtuvo piezas necesarias para las paredes del molde y su base con medidas exactas.
- **Amoladora**: Voltaje 110V: su disco de desbaste ayudó a quitar los restos de acero producto del oxi-corte que no se eliminaban con espátula. También se obtuvo pequeñas varillas de acero necesarias gracias a los discos de corte.
- **Taladro**: Voltaje 110V, usando este equipo se logró realizar agujeros necesarios para colocar pernos de ajuste de la cubierta y de fijación de varillas al molde.
- **Cizalla**: permite dar el tamaño y medida de cualquier elemento de tol que deseemos para las cubiertas del aislante tanto superior, como interior, cortándola en el lugar que se señale.
- **Dobladora**: tanto de tubo como la de tol fueron de gran utilidad en la construcción del sistema. En las resistencias eléctricas las cuales deben abarcar la mayor cantidad de área posible, se las daba formas curvas al tubo de 3/8" para alcanzar al área requerida. Por otro lado la dobladora de tol ayudo a fabricar las cajas que se tienen en la máquina.
- **Equipo Universal de Ensayos**: las probetas conseguidas en el proceso de Termopresión van a ser sometidas a ensayos de flexión y compresión para determinar su comportamiento, por lo que este equipo es de gran utilidad.
- **Prensa Hidráulica**: este equipo va a permitir compactar el material plástico con la fuerza recomendada sin deformaciones en su estructura. Capacidad 15 toneladas.

- **Equipo de Molido de Polímeros:** permite tener los polímeros que necesitamos bien molidos para obtener una mejor fusión entre las moléculas.

- **Equipo de Seguridad Industrial**
 - Botas de seguridad
 - Mascarilla de carbón activado
 - Gafas de protección
 - Extinguidor
 - Guantes antideslizantes
 - Guantes para soldar
 - Casco de soldador
 - Overol
 - Protector de oídos

5.3.2. HERRAMIENTAS

- Pistola de pintura.
- Llaves.
- Espátula
- Destornilladores.
- Playo manual y de presión.
- Cepillo metálico.
- Martillos.
- Rayador
- Escuadras
- Tijeras

5.3.3. INSTRUMENTOS

- Regulador de Temperatura digital

- Balanza.
- Flexómetro
- Pie de Rey
- Multímetro
- Termocupla Tipo J
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Impresora
- Programas computacionales: Autocad, Solidworks, Mathcad, Office, Project.

5.4 MANO DE OBRA

Tabla 5.1 Datos referentes a mano de obra utilizada

Descripción	Unidad	Cantidad
Ejecutor 1	horas	50
Ejecutor 2	horas	50
Soldador	horas	15
Ayudante	horas	15
Jefe de Taller	horas	30
Director	horas	30
Codirector	horas	30
Transporte	horas	20

5.5 MATERIALES

Tabla 5.2 Listado de materiales utilizados

Materiales				
No.	Descripción	Observación	Unidad	Cant.
1	Plancha de tol 6mm 700x600x6	Molde, paredes, bases y placa superior	u	1
2	Plancha de tol 1.1mm 350x350x1.1	Cubierta placa superior	u	1
3	Plancha de tol de 1.1mm 800x800x1.1	Cubierta Inferior	u	1
4	Plancha de acero A-36 400x100x20 mm	Soportes del Molde	u	1
5	Plancha de tol de 1.1 mm 420x420x1.1	Molde de tol	u	1
6	Varilla cuadrada 1,1 cm x 1,5 m	Soportes de la base del molde	u	1
7	Tubo ½" espesor 1.1 mm x 70cm	Agarraderas	u	1
8	Electrodo 6011	Conjunto	Kg.	2
9	Cable siliconado 4 m	Sistema eléctrico	u	1
10	Termocupla tipo J	Sensor de Temperatura	u	1
11	Contactador 32A/220V	Sistema eléctrico	u	1
12	Brake 20A	Sistema eléctrico	u	1
13	Regulador de Temperatura Digital	Regulación Temperatura	u	1
14	Luz Piloto	Sistema eléctrico	u	1
15	Interruptor	Sistema eléctrico	u	1
16	Manómetro	Medición	u	1
17	Tubería de bronce ¼" x 7cm	Conexión Manómetro	u	1
18	Codo ¼" NPT	Conexión Manómetro	u	1
19	Pintura Esmalte Negro	Molde y anexos	lt	1
20	Teflón	Conexión Manómetro	u	1
21	Enchufe 220V	Sistema Eléctrico	u	1
22	Fibra Cerámica 2x2 m e=25.4mm	Aislante térmico del molde	u	1
23	Tubo acero 3/8" longitud = 3 m	Resistencias Eléctricas	u	1
24	Plancha acero 500x550x1.1 mm	Caja de Control Eléctrico	u	1

Continuación Tabla 5.2

25	Tubo Flexible de acero longitud 1.5 m	Conexiones	u	1
26	Plancha acero 300x300x2 mm	Placas de moldeo	u	4
27	Plancha de acero 300x300x10,5mm	Superficie inferior de resistencia superior	u	1

CAPÍTULO 6

PRUEBAS

6.1. PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

6.1.1. PROCEDIMIENTO

- Para comprobar el excelente funcionamiento y estado de los componentes del sistema, previo a la fabricación de las tablas de polímero compactado, se verificarán las siguientes propiedades:
 - **Sujeción y estabilidad del molde:** constatar que la base del molde este apoyada sobre los pasadores, brindando estabilidad el momento de la compresión, así como también la capacidad de ser desmontado de la estructura con el fin de realizar algún tipo de mantenimiento o modificación.
 - **Movilidad de la prensa:** desplazar la prensa con el uso del gato hidráulico verificando que alcanza la distancia necesaria para compactar el plástico hasta el espesor requerido (3 cm.). Luego

probar el retorno del vástago tal que permita retirar el material compactado con facilidad.

- **Funcionamiento del gato hidráulico:** comprobar la capacidad de la prensa para compactar el plástico con la presión requerida. Es decir que genere la fuerza máxima de 10 toneladas sobre el área del molde. Para esto se realizarán un banco de pruebas tomando datos de presión, compactando plástico hasta que la presión en el manómetro sea la necesaria para compactar el material.
- **Estado de las conexiones:** es muy importante verificar los puntos en los cuales se encuentra conectada la termocupla y los controladores digitales para tener total fidelidad de los datos que va a mostrar la pantalla. El estado de los cables de conexión y el cable de poder para la conexión eléctrica a 220V deben tener excelentes condiciones capaces de ofrecer un largo funcionamiento eléctrico al sistema.
- **Generación de Calor:** colocar material en el molde, compactar el plástico y encender las resistencias eléctricas. Posteriormente verificar que la temperatura alcanzada por la pared del molde sea la necesaria para que exista la suficiente transferencia de calor hacia el plástico tal que se funda todo el material. La temperatura de diseño para la cual fue calculada la potencia de las resistencias fue 260 C, que es la temperatura máxima que alcanzarían las paredes del molde, esto debido al caso crítico del PET que se explicó anteriormente. Para la fusión de las mezclas de polímeros y cascarilla de arroz la temperatura de moldeo variaría de acuerdo al polímero que tenga la menor temperatura de fusión, de esta forma evitar que la mezcla se queme.
- **Temperatura constante:** para obtener una muestra de polímero en excelentes condiciones se debe estabilizar la temperatura del material durante un intervalo de tiempo hasta que toda la mezcla

llegue a un estado de moldeo. Los controladores digitales deben ser verificados realizando pruebas con distintas temperaturas dentro de las cuales se deben apagar o encender las resistencias eléctricas estableciendo la temperatura dentro de la cual se desea mantener el sistema.

6.1.2. DATOS INICIALES DE PRESIÓN

Se ejecuto las pruebas de presión y se tomo datos para verificar que el sistema hidráulico logra la presión requerida con la fuerza de compactación recomendada sin problema alguno.

Tabla 6.1 Datos de presión

Presión Alcanzada
psi
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

6.1.3. CONTROL DE TEMPERATURA DE FUSIÓN

Las resistencias eléctricas se encienden para tomar datos de temperatura que puede alcanzar el molde, tanto la parte superior como la base, y verificar su buen funcionamiento para permitir la fusión del material. Es importante revisar la colocación de la termocupla para que la lectura sea lo más precisa posible.

Tabla 6.2 Pruebas de temperatura y control

Temperatura Alcanzada	Estabiliza
C	
40	Si
60	Si
80	Si
120	Si
160	Si
200	Si
220	Si
240	Si
260	Si

6.1.4. ESTUDIO COMPARATIVO

La comparación de resultados es de vital importancia para conocer el comportamiento de cierta mezcla respecto a otra en factores como módulo de elasticidad, deformación, esfuerzo de flexión y compresión. Esta comparación se la realizará con gráficas de Excel después de obtenidos los datos de los ensayos hechos en la máquina universal.

Objetivo de este estudio es conocer como influyen ciertas variables en el desempeño del material cuando es sometido a carga. Por ejemplo que elemento es el más flexible o que porcentaje de cierto polímero esta afectando positiva o negativamente a la estructura, y así conocer las propiedades de una mezcla de polímeros tal que brindar una fuente de información acerca del comportamiento de ciertas mezclas usando PET, HDPE y cascarilla de arroz, identificando el elemento o la mezcla con mejor desempeño y nombrar cantidad o elementos que no deben tomarse en cuenta para obtener una placa con excelentes propiedades.

6.1.5. ADQUISICIÓN DE DATOS

Los datos permiten calcular la fuerza que se ejerce sobre la base del molde y verificar que se alcanza el tonelaje requerido para la compactación del material.

Tabla 6.3 Presión y fuerza alcanzada

Área de Pistón		
At	9.621	plg ²

Presión Alcanzada	Fuerza Ejercida
psi	TON
500	2.19
1000	4.37
1500	6.56
2000	8.75
2500	10.93
3000	13.12
3500	15.31

6.1.6. ANÁLISIS DE DATOS

- Como se puede ver la fuerza de 10 TON es soportada por el molde y la estructura sin inconveniente, alcanzando una fuerza mayor de 15 TON lo que significa aproximadamente 3500 psi en el gato hidráulico, que es una presión mayor a los 2.079 psi requeridos que se calculó anteriormente.
- El buen funcionamiento del control de temperatura se lo evidencia al ver que se estabiliza el sistema a la temperatura deseada la cual se la coloca en el selector. Esto ayuda a la correcta fusión del material y evita que se quemé.

6.2. PRUEBAS DE LABORATORIO

6.2.1. PROCEDIMIENTO

Medidas de seguridad y preparación del material

- Para iniciar el proceso de Termopresión se necesita que el operador se encuentre con los elementos de seguridad necesarios gafas, overol y guantes. Los elementos nombrados evitarán quemaduras en extremidades al manipular el sistema ya que este funciona con temperaturas de hasta 260 C y daños en el rostro, principalmente en la visión, por salpicadura de plástico fundido.
- Se recomienda seleccionar y pesar el plástico molido que se va a moldear, separando los diferentes tipos de polímeros para luego mezclar y tener el material listo para iniciar el proceso. La masa que se pesa para depositar en el molde es solo experimental ya que no se tiene un dato de la cantidad de material que se tiene que colocar para obtener cierto volumen de plástico fundido.
- Antes de colocar la mezcla en el molde debemos colocar la placa de moldeo base (30x30x0.11 cm) y después depositar la mezcla.
- Para obtener una placa de plástico reciclado en buenas condiciones se coloca vaselina de petróleo en las paredes del molde, esta ayuda a desmoldar la placa con mayor facilidad, ya que el plástico tiende a adherirse al metal. Se esparce por toda el área de las paredes, la base y la placa superior con la ayuda de una espátula.



Figura 6.1 Colocación de la mezcla

- Luego tapamos la mezcla dentro del molde con la otra placa de las mismas características y la dejamos lista para su moldeo.

Puesta en Funcionamiento del Sistema

- Verificando que el brake este apagado se conecta el enchufe a una toma de 220 V,
- Se coloca el brake y el interruptor de perilla en "ON", en ese instante se enciende el foco de funcionamiento y el Pirómetro Digital. La temperatura mostrada debe ser la temperatura ambiente, 18 a 20 C aproximadamente.



Figura 6.2 Caja de control

Pre-calentamiento

- Las resistencias requieren cierto tiempo de estabilización para que comience a transferir energía con el flujo necesario. El tiempo recomendado por el fabricante es de 10 a 15 minutos de pre-calentamiento en una temperatura de 100 C para tener un flujo constante de 1500 W por resistencia eléctrica, antes de comenzar el proceso.
- Para iniciar el pre-calentamiento se coloca el selector del pirómetro en 100 C, inmediatamente se encienden las resistencias hasta la temperatura marcada, luego el control digital se encarga de estabilizar la temperatura durante el tiempo que se desee.
- El pre-calentamiento se lo debe realizar bajando la placa superior hasta topar la base del molde, con el fin de lograr un mejor calentamiento de las resistencias y evitar pérdidas.

Inicio del Moldeo de Plástico

- Acabado el tiempo de pre-calentamiento, se coloca el molde con la mezcla preparada previamente, con mucho cuidado siempre utilizando guantes ya que la temperatura tanto de la base, como de la placa superior, esta a 100 C aproximadamente.
- Se coloca la placa superior (30x30x1.5 cm) sobre la mezcla y sus placas, teniendo mucho cuidado. Para que encaje la placa se baja la prensa poco a poco hasta ejercer la presión requerida.



Figura 6.3 Pre calentamiento de la mezcla

- Se acciona el gato hidráulico y se baja la placa superior hasta que tape totalmente al molde. La prensa debe permanecer en esta posición durante 5 minutos para hacer al plástico un poco moldeable antes de ejercer presión.
- Dependiendo la mezcla, se marca la temperatura a la cual se desea subir al material plástico. En la mezcla existen varios polímeros los cuales tienen puntos de fusión diferentes de los cuales se elige el menor como referencia para colocar una temperatura cercana en el control de temperatura y así evitar que se queme este polímero al marcar una temperatura mayor lo que echaría a perder la mezcla.
- Marcada la temperatura en la pantalla se inicia a tomar el tiempo tal que se constate la duración del calentamiento del plástico.
- Luego se procede a ejercer presión con el gato hidráulico hasta que el manómetro indique la presión deseada.

Apagado de las resistencias e Enfriamiento

- Pasado el tiempo estimado de moldeo se levanta el dispositivo móvil y se observa el estado de la mezcla por como se comporta las rebabas. Si se observa que el material ha comenzado a fluir en gran cantidad, se procede a bajar el dispositivo móvil, cubriendo la mezcla sin presión y se apagan las resistencias.
- En el caso de que no se observe fluir en gran cantidad la mezcla fundida, se baja el dispositivo móvil, sin ejercer presión se mantiene el calor por 10 minutos más, y se apagan las resistencias.
- Para apagar las resistencias se coloca el interruptor en "OFF" y se deja enfriar al ambiente unos 30 minutos aproximadamente, dependiendo de la temperatura a la que se elevó la mezcla, luego se levanta la placa superior y se saca el molde. Luego se saca el material con las placas y se deja enfriar hasta que llegue a temperatura ambiente.
- También podemos dejar enfriar a la placa hasta un temperatura de 100 C y sacarla con mucha más facilidad. A esta temperatura la placa se encuentra sumamente sólida tal que no se produce ninguna deformación durante su extracción, pero hay que hacerlo usando la protección necesaria de evitar quemaduras en la piel.

Extracción de la placa plástica

- Teniendo la muestra en temperatura ambiente o a 100 se procede a separar de las placas de acero, con la ayuda de espátulas, se debe ser muy cuidadoso de no afectar la superficie para obtener una placa más uniforme.
- La extracción de la placa se la hace con ayuda de la misma prensa pero colocando boca abajo el molde y un cilindro macizo en el agujero tal que al bajar la prensa empuje a las placas sacándolas del molde. Esta acción es

necesaria ya que la mezcla se adhiere con gran fuerza al metal y su extracción es muy difícil. Si se lo hace golpeando con un martillo se provoca una gran deformación en la superficie de la muestra debido a los fuertes golpes que se tienen que hacer. En cambio al hacerlo en la prensa no se produce ningún daño a la placa.



Figura 6.4 Conjunto de placas

- Al sacar el conjunto placas y plástico del molde es necesario usar una entonalla para fijar con fuerza e ir extrayendo poco a poco la placa de plástico. A continuación dos ejemplos de placas extraídas de la prensa.



Figura 6.5 Placa mezcla 6



Figura 6.6 Placa mezcla 2

Obtención de las probetas

- Se corta las probetas de las medidas mostradas con ayuda de sierra con mucho cuidado ya que se puede fracturar la placa.

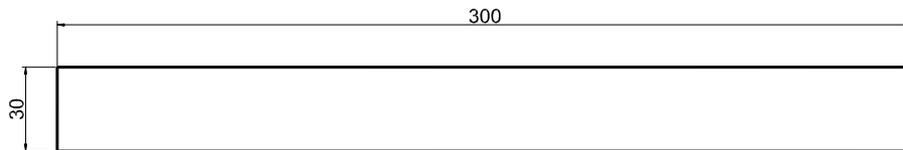


Figura 6.7 Medidas de probeta (mm).



Figura 6.8 Probetas mezcla 2

Ensayos Mecánicos

Flexión

Los ensayos se realizan en la Máquina Universal, colocando el accesorio para flexión, la escala de carga de 1000 kg y la escala gráfica en 2.5.

Para los ensayos de Flexión se tomo una distancia de 28 cm entre apoyos, ejerciendo carga a la mitad de dicha distancia. Se recomienda ajustar bien la hoja de papel milimetrado para obtener una curva que permita calcular el módulo de elasticidad, tomando 3 o 4 puntos de la zona elástica.



Figura 6.9 Ensayo de flexión

Compresión

El ensayo de compresión se lo realizó en el mismo equipo utilizando la escala de carga de 2000 kg y la escala gráfica 2.5. La probeta es de perfil cuadrado y su longitud es 2.5 veces el lado.



Figura 6.10 Probetas de compresión

Se adapta para la compresión las bases de acero y se regula la subida del cabezal tal que quede sujeta la probeta para iniciar el ensayo.

6.2.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Características de las Mezclas

Tabla 6.4 Mezclas

	Mezcla	Masa (kg)	Presión (psi)	Temperatura C	Tiempo (h)	T enfriamiento C	Enfriamiento (h)
1	100% PET	2.18	2079	190	3	100	1.17
2	100% HDPE	1.47	2079	150	2.5	100	0.7
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	1.96	2079	180	2.5	100	1
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	1.76	1039.5	180	2.5	A+P	2
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	2.12	2079	165	2.75	100	0.8
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	1.7	2079	165	2.5	100	0.8
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	1.64	1039.5	165	2.5	A+P	1.8
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	1.67	2079	165	2	100	0.8
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	1.89	2079	175	2.75	100	0.9
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	2.09	2079	165	2.5	100	0.8

A+P: Enfriamiento hasta Temperatura ambiente ejerciendo presión.

Tablas de Datos de Ensayos de Flexión

Las tablas que se muestran a continuación muestran el comportamiento promedio de cada una de las mezclas sometidas a flexión, obteniendo el esfuerzo máximo, carga de rotura, deformación y módulo de elasticidad.

Tabla 6.5 Datos mezcla 2: probeta 1

MEZCLA 2					
	Fuerza de Flexión	Deflexión	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.1	70	52.5	17150.00
2	10	0.34	140	105	10088.24
3	15	0.62	210	157.5	8298.39
4	20	0.8	280	210	8575.00
5	25	1.05	350	262.5	8166.67
6	30	1.3	420	315	7915.38
7	35	1.68	490	367.5	7145.83
8	40	2.1	560	420	6533.33
9	47	2.52	658	493.5	6397.22

El siguiente cálculo muestra como se encuentran los valores en tabla 6.5. El mismo procedimiento será para el estudio de las propiedades del resto de mezclas.

Cálculo de Esfuerzos a la Flexión: Mezcla 2

Lado Sección Cuadrada

$$L_b := 2 \quad \text{cm}$$

Distancia entre apoyos

$$D_{ap} := 28 \quad \text{cm}$$

Fuerza de Flexión

$$F_y := 30 \quad \text{kg}$$

Deflexión

$$\delta_{\text{max}} := 1.3 \quad \text{cm}$$

Momento Flector

$$M := F_y \cdot \frac{D_{ap}}{2}$$

$$M = 420 \quad \text{kg} \cdot \text{cm}$$

Inercia de la Sección

$$I_x := \frac{L_b^4}{12}$$

$$I_x = 1.333 \quad \text{cm}^4$$

Esfuerzo a la Flexión

$$\sigma := \frac{\left(M \cdot \frac{L_b}{2} \right)}{I_x}$$

$$\sigma = 315 \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de Elasticidad

$$E := \frac{F_y \cdot Dap^3}{48 \cdot Ix \cdot \delta}$$

$$E = 7.915 \times 10^3 \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm2
7992.06

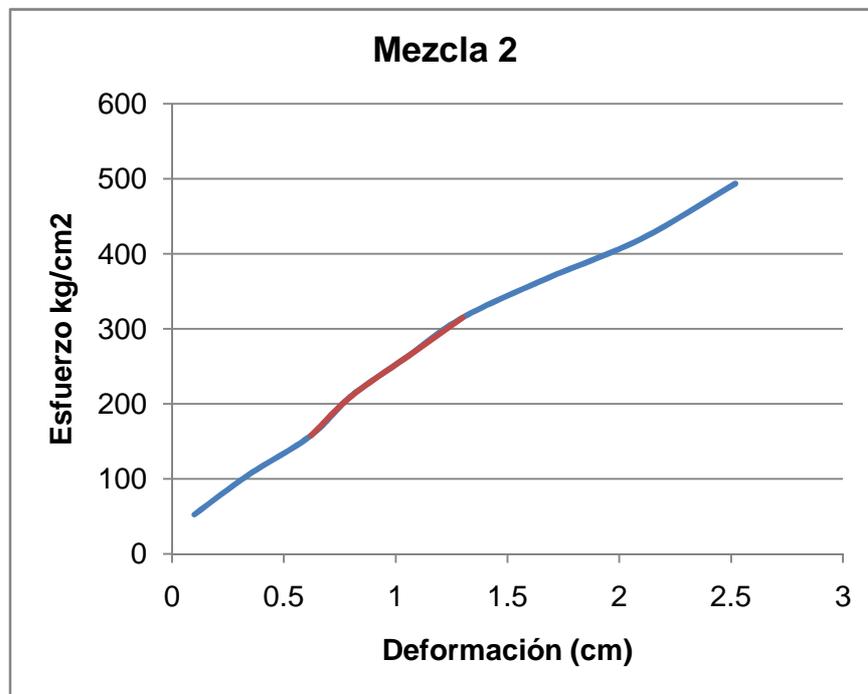


Figura 6.11 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 2 flexión

Mezcla 3 : Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 28 cm
 Lado Sección = 2.5 cm
 Inercia Sección = 3.26 cm⁴

Tabla 6.6 Datos mezcla 3: probeta 2

MEZCLA 3					
	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.14	70	26.88	5017.60
2	10	0.216	140	53.76	6504.30
3	15	0.332	210	80.64	6347.57
4	20	0.448	280	107.52	6272.00
5	25	0.592	350	134.4	5932.97
6	30	0.776	420	161.28	5431.42
7	35	1.08	490	188.16	4553.01
8	45	1.2	630	241.92	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
6368.06

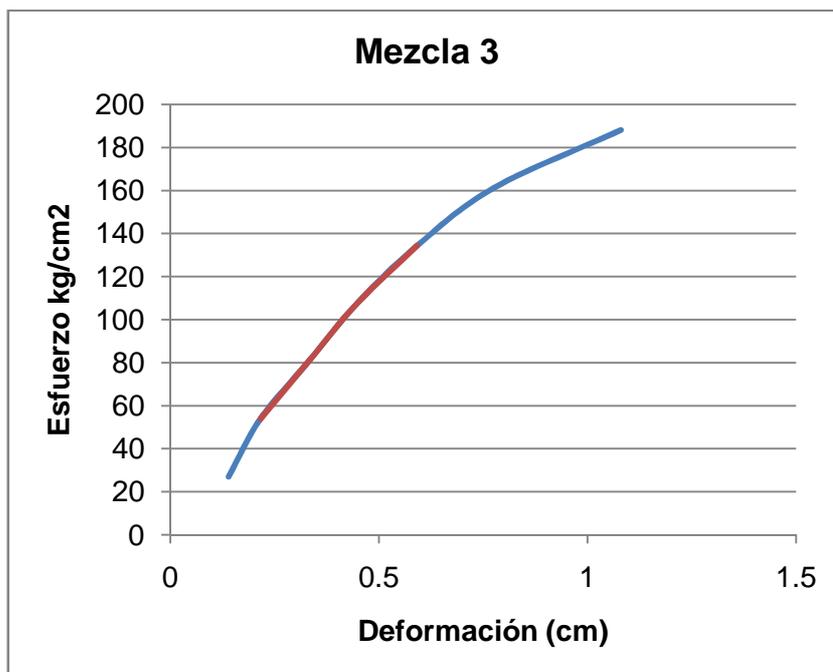


Figura 6.12 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 3 flexión

Mezcla N. 4 : Probeta 1

Distancia entre Apoyos = 28 cm
Lado Sección = 2.5 cm
Inercia Sección = 3.26 cm⁴

Tabla 6.7 Datos mezcla 4: probeta 1

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.15	35	13.44	2341.55
2	5	0.32	70	26.88	2195.20
3	8	0.52	112	43.01	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
2295.52

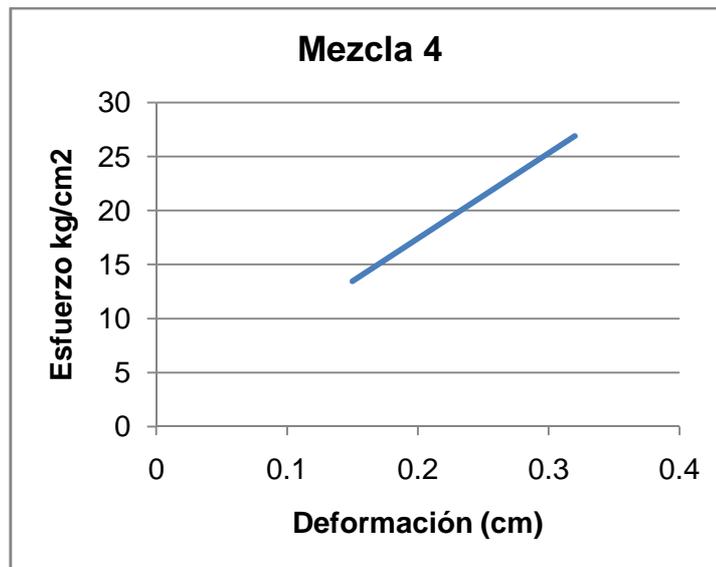


Figura 6.13 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 4 flexión

Mezcla N. 5: Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 28 cm
Lado Sección = 2.2 cm
Inercia Sección = 1.95 cm⁴

Tabla 6.8 Datos mezcla 5: probeta 2

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.27	35	19.72	2169.20
2	5	0.56	70	39.44	2091.73
3	10	0.98	140	78.89	2390.55
4	20	1.15	280	157.78	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
2212.25

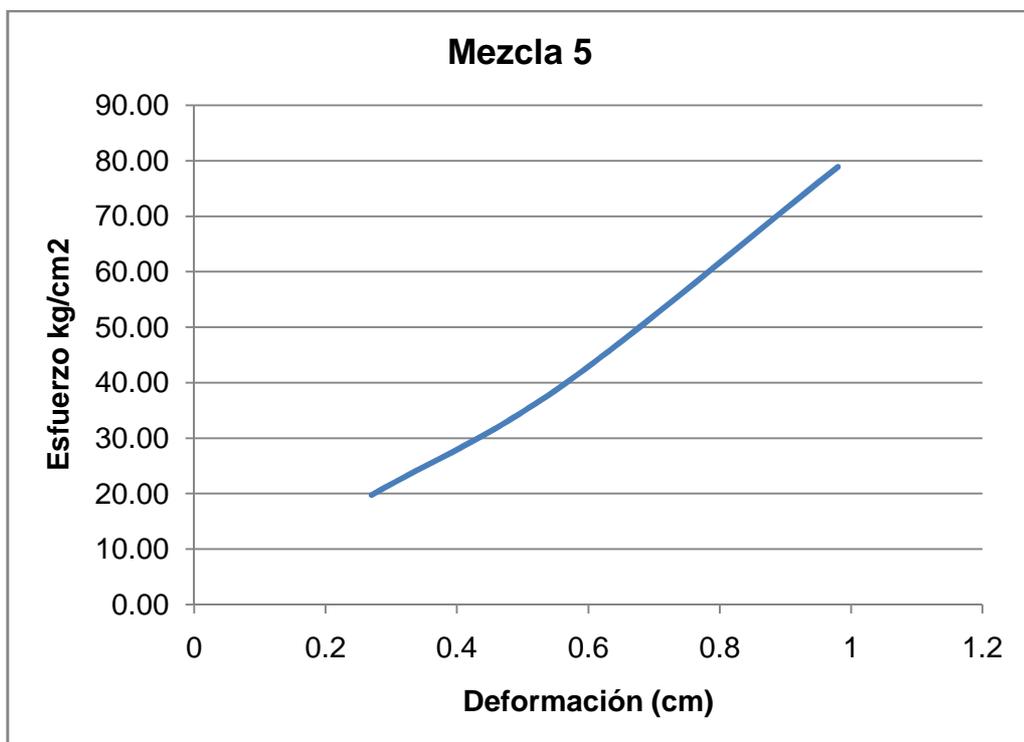


Figura 6.14 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 5 flexión

Mezcla N. 6: Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 28 cm
Lado Sección = 2.5 cm
Inercia Sección = 3.26 cm⁴

Tabla 6.9 Datos mezcla 6: probeta 2

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.25	70	26.88	2809.86
2	10	0.47	140	53.76	2989.21
3	15	0.76	210	80.64	2772.88
4	24	1.05	336	129.02	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
3108.89

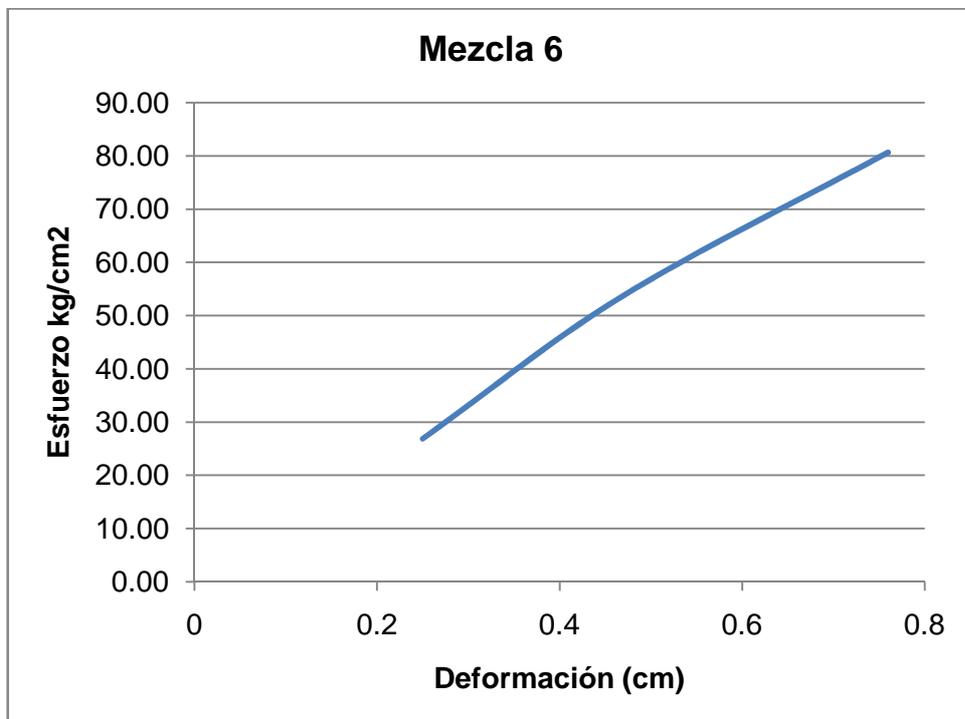


Figura 6.15 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 6 flexión

Mezcla N. 7: Probeta 4

Distancia entre Apoyos = 28 cm
 Lado Sección = 2.2 cm
 Inercia Sección = 1.95 cm⁴

Tabla 6.10 Datos mezcla 7: probeta 4

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.184	70	39.44	6366.13
2	10	0.352	140	78.89	6655.50
3	15	0.56	210	118.33	6275.19
4	20	0.792	280	157.78	5916.00
5	28	1.05	392	220.89	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
6474.88

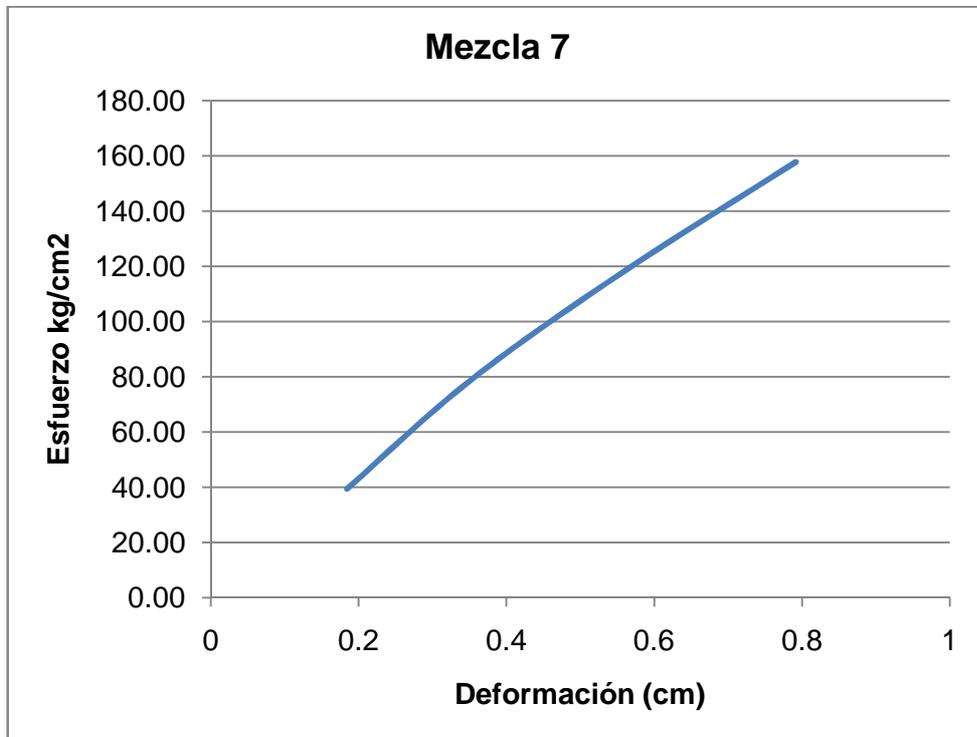


Figura 6.16 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 7 flexión

Mezcla N. 8: Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 28 cm
Lado Sección = 2 cm
Inercia Sección = 1.33 cm⁴

Tabla 6.11 Datos mezcla 8: probeta 2

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.2	70	52.50	8575.00
2	10	0.424	140	105.00	8089.62
3	15	0.668	210	157.50	7702.10
4	20	1.04	280	210.00	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
8266.17

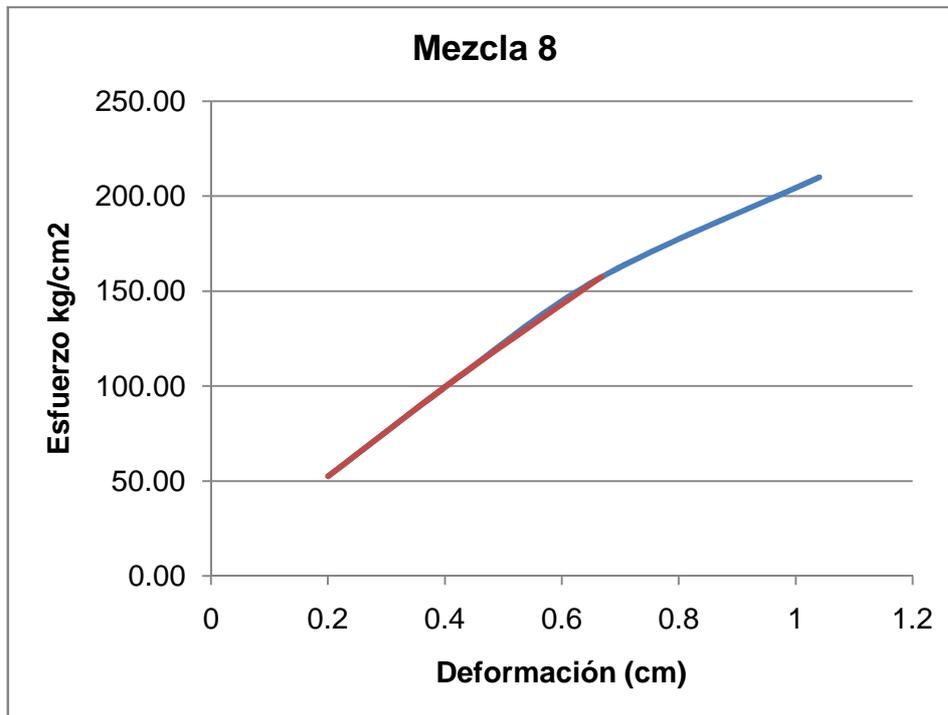


Figura 6.17 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 8 flexión

Mezcla N. 9: Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 28 cm
 Lado Sección = 2.8 cm
 Inercia Sección = 5.12 cm⁴

Tabla 6.12 Datos mezcla 9: probeta 2

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.1	70	19.13	4464.29
2	10	0.26	140	38.27	3434.07
3	15	0.42	210	57.40	3188.78
4	20	0.57	280	76.53	3132.83
5	22	0.68	308	84.18	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
3274.59

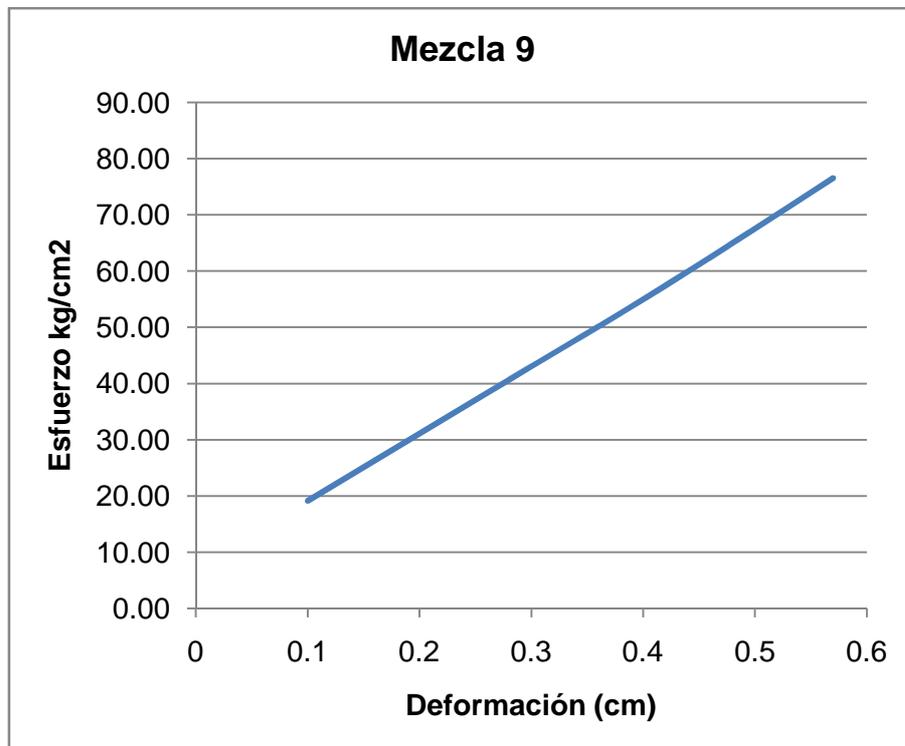


Figura 6.18 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 9 flexión

Mezcla N.10: Probeta 4

Distancia entre Apoyos = 28 cm
 Lado Sección = 3 cm
 Inercia Sección = 6.75 cm⁴

Tabla 6.13 Datos mezcla 10: probeta 4

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.08	70	15.56	4234.57
2	10	0.2	140	31.11	3387.65
3	15	0.37	210	46.67	2746.75
4	20	0.512	280	62.22	2646.60
5	25	0.728	350	77.78	2326.69
6	30	0.92	420	93.33	2209.34
7	35	1.432	490	108.89	1655.98
8	40	2	560	124.44	

Módulo de Elasticidad Promedio kg/cm ²
2414.54

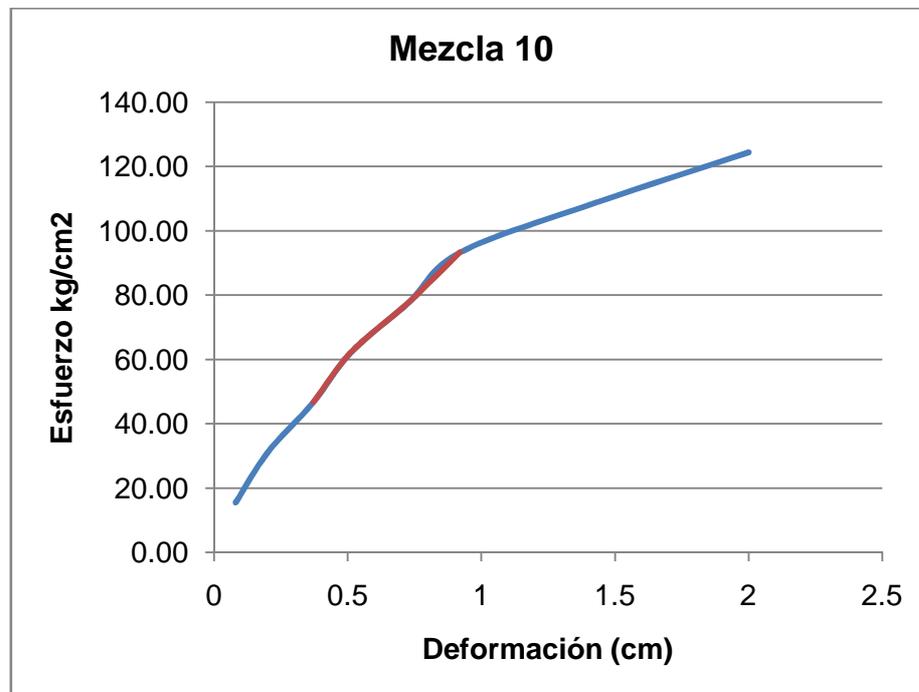


Figura 6.19 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 10 flexión

La mezcla 1 de 100% de PET fue comparada con una muestra de la mezcla de 100% HDPE, con una longitud entre apoyos de 12 cm ya que no se logró obtener una probeta de 30 cm de largo debido a la gran fragilidad de la placa de PET.

Mezcla 100% PET: Probeta 2

Distancia entre Apoyos = 12 cm
 Lado Sección = 2.4 cm
 Inercia Sección = 2.76 cm⁴

Tabla 6.14 Datos mezcla 100% PET: probeta 2

	Fuerza de Flexión	Deflexión	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.05	15	6.51	651.04
2	5	0.1	30	13.02	651.04
3	13	0.24	78	33.85	705.30
					669.13

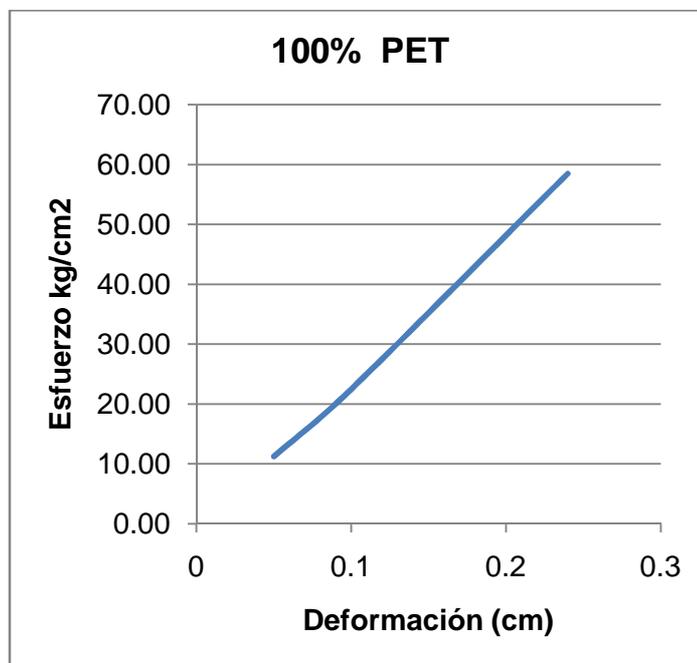


Figura 6.20 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 100% PET flexión

Tabla 6.15 Datos mezcla 100% HDPE

	Fuerza de Flexión	Deflexión	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	25	0.128	150	112.50	5273.44
2	50	0.268	300	225.00	5037.31
3	75	0.44	450	337.50	4602.27
4	85	0.54	510	382.50	4250.00
5	99	0.72	594	445.50	
					4790.76

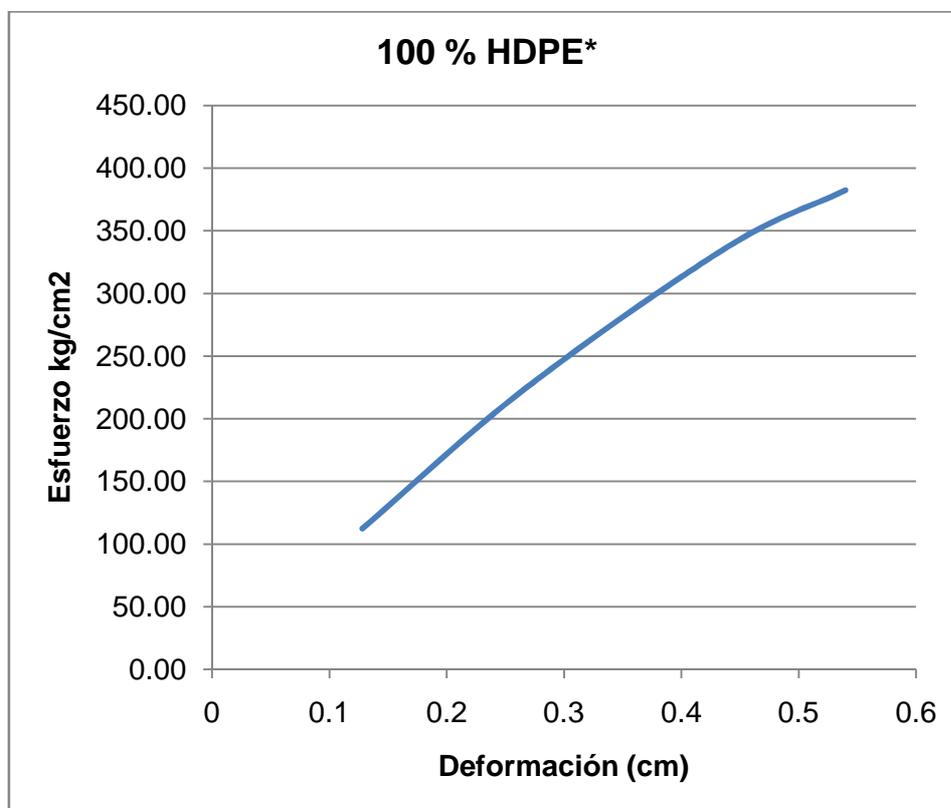


Figura 6.21 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 100% HDPE flexión

Como se puede ver el PET es un material muy frágil, teniendo una pequeña deformación a su ruptura. Por otro lado el HDPE es un material flexible con una resistencia mayor a la flexión.

Tablas de Datos de Ensayos de Compresión

Mezcla N. 1: Probeta 1

Lado Sección = 2.4 cm
 Área Sección = 5.76 cm²
 Longitud Probeta = 6.00 cm

Tabla 6.16 Datos mezcla 1: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	50	0.09	8.68	0.09	578.70
2	100	0.12	17.36	0.12	868.06
3	150	0.14	26.04	0.14	1116.07
4	200	0.16	34.72	0.16	1302.08
5	234	0.2	40.625		

Módulo Promedio kg/cm ²
1163.61

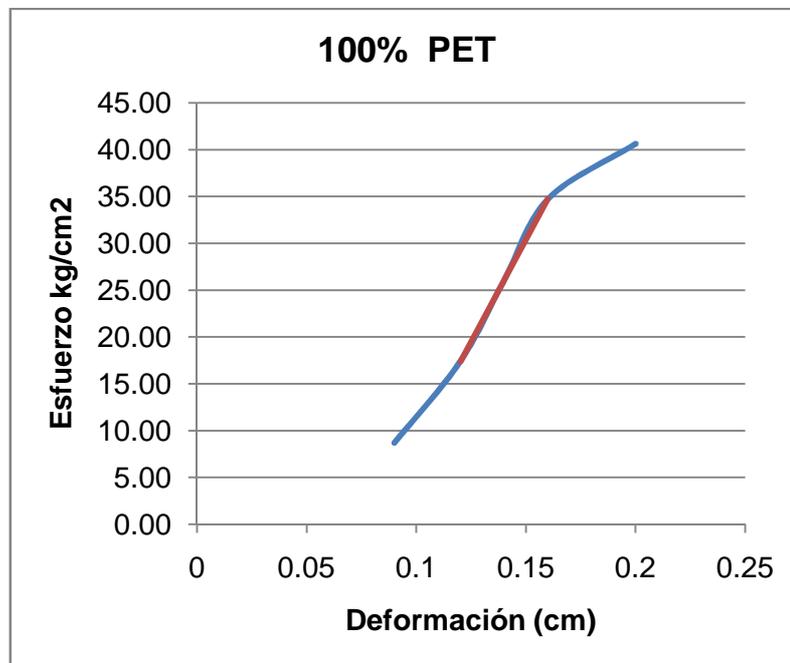


Figura 6.22 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 1 compresión

A continuación se presenta el ejemplo de cálculo para los esfuerzos de Compresión y el módulo de elasticidad para la mezcla 1 anteriormente descrita en la página anterior.

Cálculo de Esfuerzo a la Compresión

Lado Sección Cuadrada

$$L_b := 2.4 \quad \text{cm}$$

Longitud Inicial

$$L_o := 2.5 \cdot L_b \quad \text{cm}$$

Área Transversal

$$A_{tr} := L_b^2$$

$$A_{tr} = 5.76 \quad \text{cm}^2$$

Fuerza de Compresión

$$F_c := 200 \quad \text{kg}$$

Deformación

$$\delta_c := 0.16 \quad \text{cm}$$

Esfuerzo de Compresión

$$\sigma_c := \frac{F_c}{A_{tr}}$$

$$\sigma_c = 34.722 \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de Elasticidad

$$E := \frac{F_c \cdot L_o}{A_{tr} \cdot \delta_c}$$

$$E = 1.302 \times 10^3 \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Mezcla N. 2: Probeta 1

Lado Sección = 2 cm
 Área Sección = 4.00 cm²
 Longitud Probeta = 5.00 cm

Tabla 6.17 Datos mezcla 2: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.048	25	0.048	2604.17
2	200	0.08	50	0.080	3125.00
3	400	0.144	100	0.144	3472.22
4	600	0.216	150	0.216	3472.22
5	800	0.28	200	0.280	3571.43
6	1000	0.36	250		
7	1100	0.48	275		
8	1200	0.64	300		
9	1298	0.92	324.5		

Módulo Promedio kg/cm²
3410.22

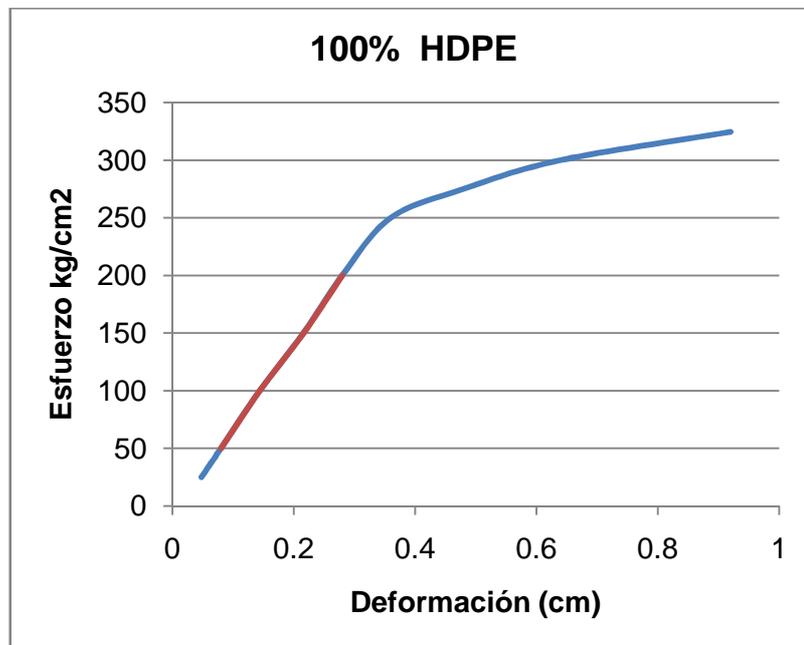


Figura 6.23 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 2 compresión

Mezcla N. 3: Probeta 1

Lado Sección = 2.5 cm
 Área Sección = 6.25 cm²
 Longitud Probeta = 6.25 cm

Tabla 6.18 Datos mezcla 3: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.072	16	0.072	1388.89
2	300	0.116	48	0.116	2586.21
3	500	0.16	80	0.160	3125.00
4	700	0.2	112	0.200	3500.00
5	800	0.232	128		
6	900	0.3	144		
7	935	0.36	149.6		

Módulo Promedio kg/cm ²
3070.40

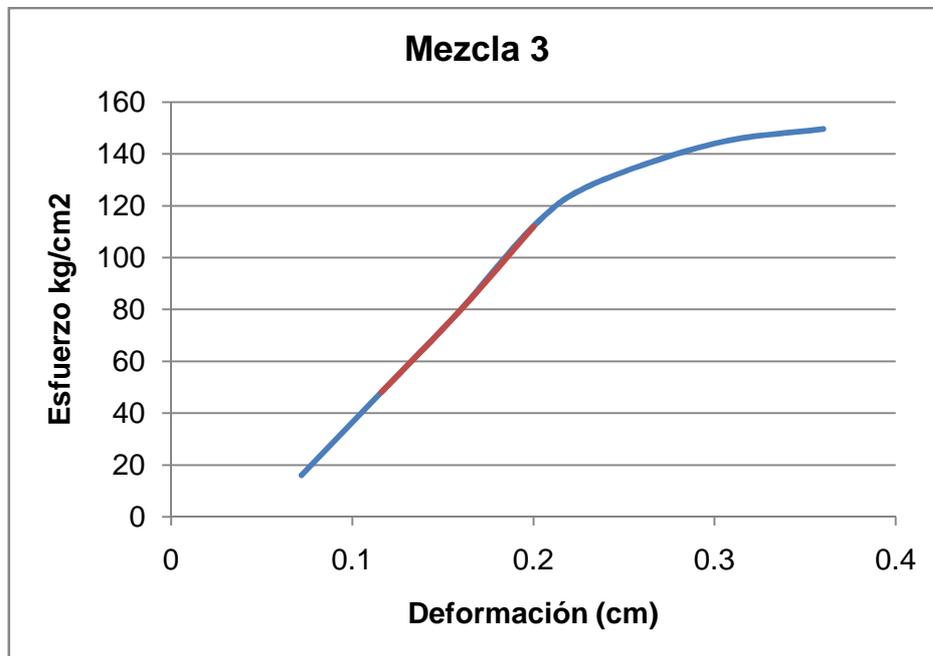


Figura 6.24 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 3 compresión

Mezcla N. 4: Probeta 1

Lado Sección = 2.5 cm
 Área Sección = 6.25 cm²
 Longitud Probeta = 6.25 cm

Tabla 6.19 Datos mezcla 4: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.048	16	0.048	2083.33
2	200	0.088	32	0.088	2272.73
3	300	0.136	48	0.136	2205.88
4	400	0.224	64	0.224	1785.71
5	458	0.36	73.28		

Módulo Promedio kg/cm²
2187.31

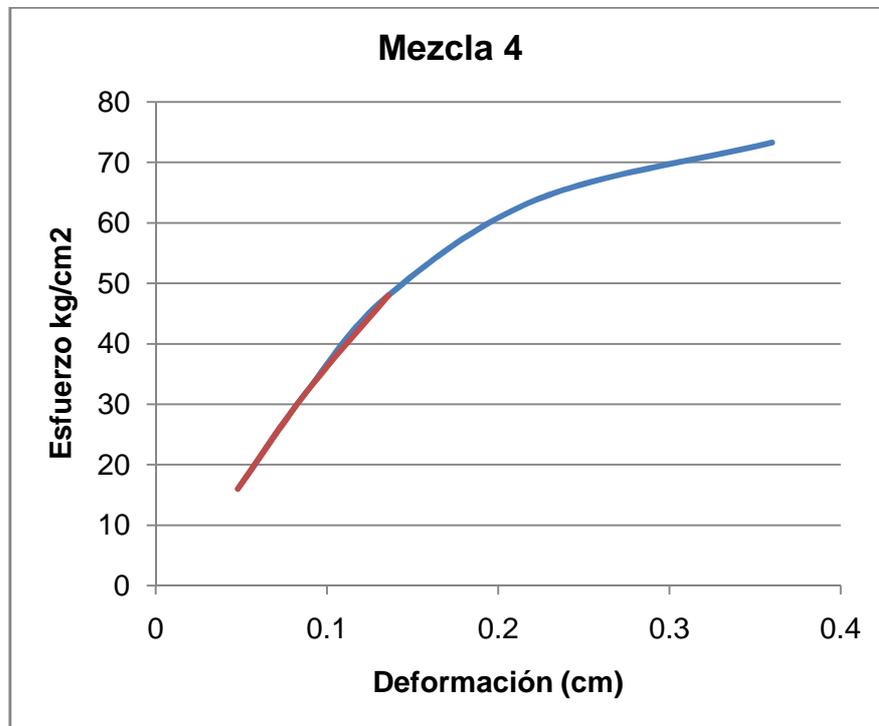


Figura 6.25 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 4 compresión

Mezcla N. 5: Probeta 1

Lado Sección = 2.2 cm
 Área Sección = 4.84 cm²
 Longitud Probeta = 5.50 cm

Tabla 6.20 Datos mezcla 5: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.05	20.66	0.050	2272.73
2	300	0.14	61.98	0.140	2435.06
3	500	0.24	103.31	0.240	2367.42
4	600	0.29	123.97	0.290	2351.10
5	670	0.38	138.43		

Módulo Promedio kg/cm ²
2358.41

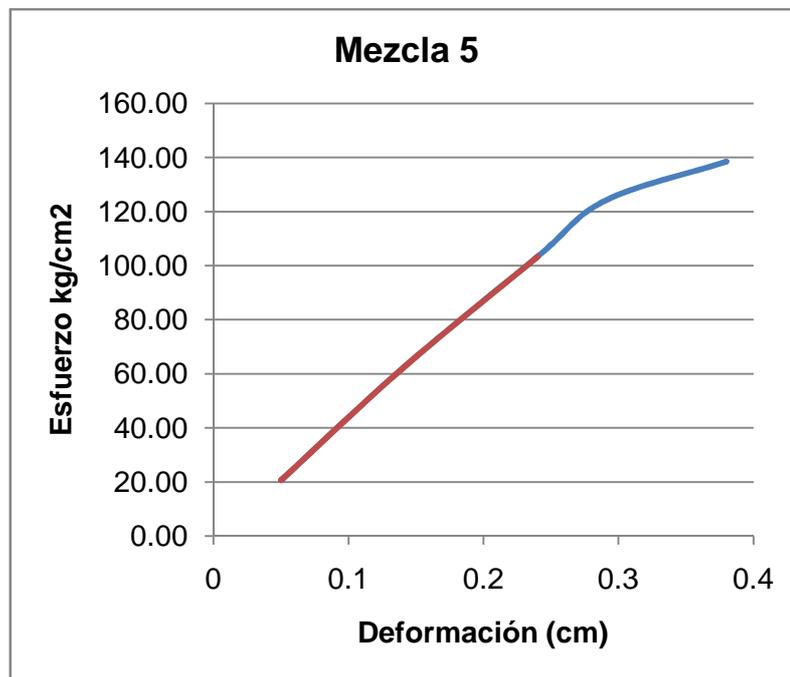


Figura 6.26 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 5 compresión

Mezcla N. 6: Probeta 1

Lado Sección = 2.5 cm
Área Sección = 6.25 cm²
Longitud Probeta = 6.25 cm

Tabla 6.21 Datos mezcla 6: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.045	16	0.045	2222.22
2	300	0.145	48	0.145	2068.97
3	500	0.24	80	0.240	2083.33
4	600	0.31	96	0.310	1935.48
5	684	0.41	109.44		

Módulo Promedio kg/cm ²
2124.84

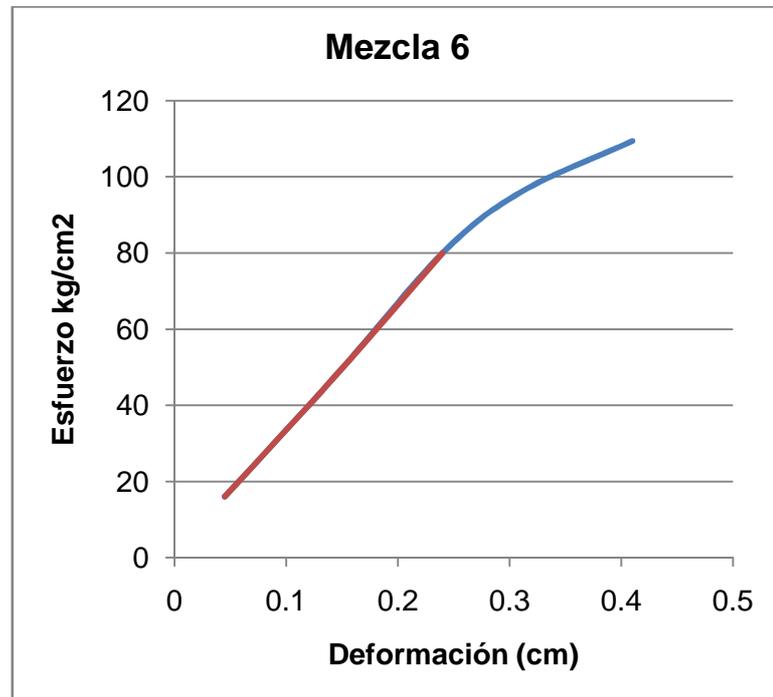


Figura 6.27 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 6 compresión

Mezcla N. 7: Probeta 1

Lado Sección = 2.2 cm
 Área Sección = 4.84 cm²
 Longitud Probeta = 5.50 cm

Tabla 6.22 Datos mezcla 7: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.09	20.66	0.090	1262.63
2	200	0.14	41.32	0.140	1623.38
3	300	0.192	61.98	0.192	1775.57
4	400	0.24	82.64	0.240	1893.94
5	500	0.28	103.31		
6	546	0.36	112.81		

Módulo Promedio kg/cm ²
1764.29

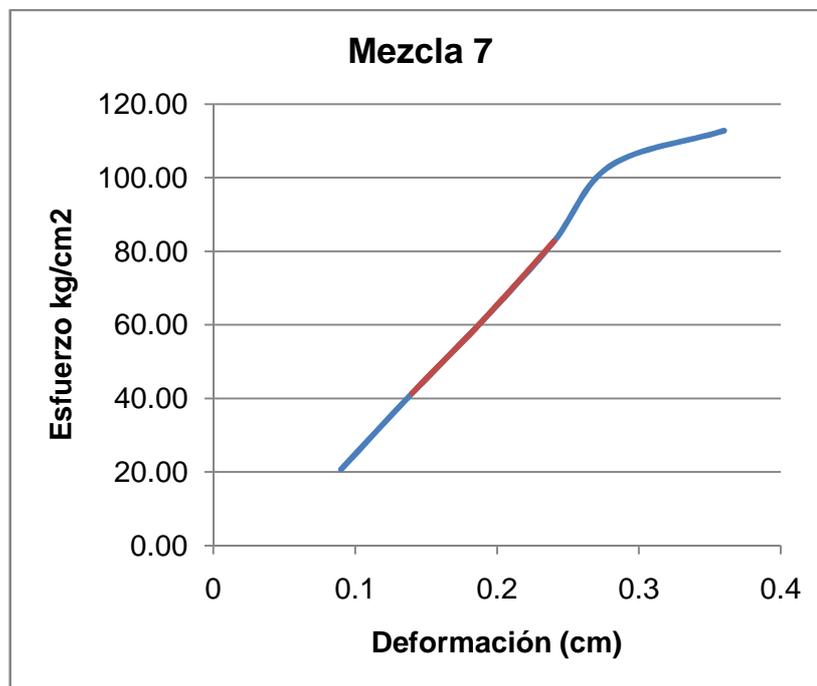


Figura 6.28 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 7 compresión

Mezcla N. 8: Probeta 1

Lado Sección = 2 cm
 Área Sección = 4.00 cm²
 Longitud Probeta = 5.00 cm

Tabla 6.23 Datos mezcla 8: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.12	25.00	0.120	1041.67
2	200	0.15	50.00	0.150	1666.67
3	300	0.175	75.00	0.175	2142.86
4	400	0.208	100.00	0.208	2403.85
5	500	0.24	125.00	0.240	2604.17
6	600	0.28	150.00	0.280	2678.57
7	700	0.32	175.00		
8	822	0.44	205.50		

Módulo Promedio kg/cm ²
2457.36

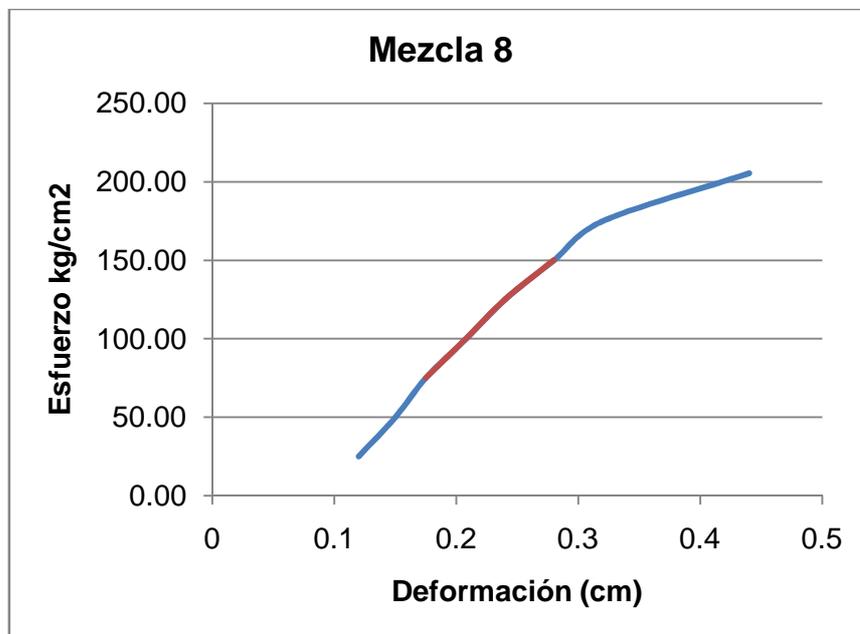


Figura 6.29 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 8 compresión

Mezcla N. 9: Probeta 1

Lado Sección = 2.8 cm
 Área Sección = 7.84 cm²
 Longitud Probeta = 7.00 cm

Tabla 6.24 Datos mezcla 9: probeta 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.04	12.76	0.040	2232.14
2	200	0.06	25.51	0.060	2976.19
3	400	0.11	51.02	0.110	3246.75
4	600	0.16	76.53	0.160	3348.21
5	800	0.23	102.04	0.230	3105.59
6	948	0.34	120.92	0.340	2489.50

Módulo Promedio kg/cm ²
3190.39

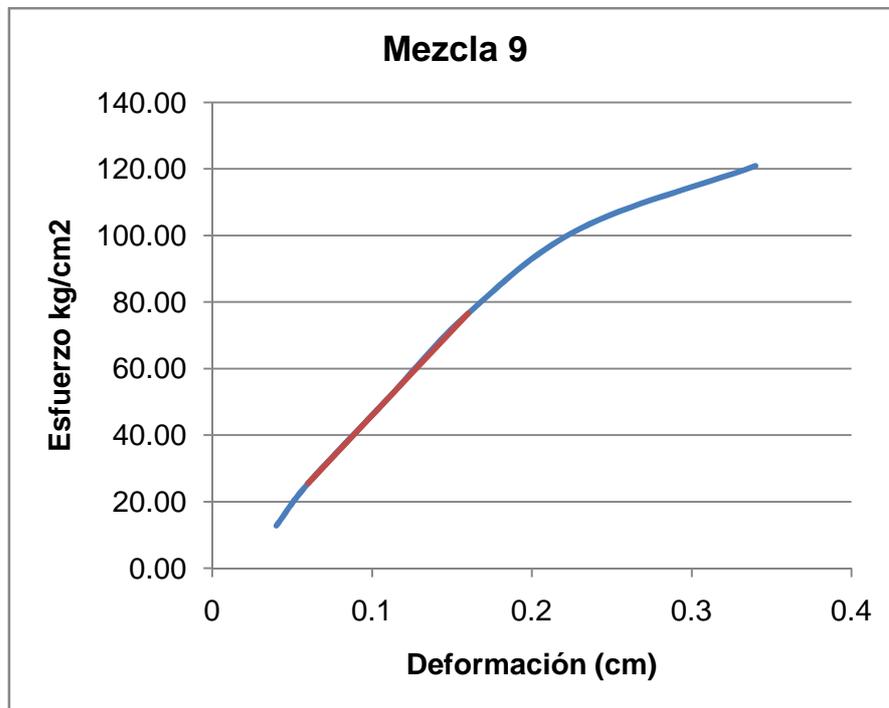


Figura 6.30 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 9 compresión

Mezcla N. 10: Probeta 1

Lado Sección = 3 cm
 Área Sección = 9.00 cm²
 Longitud Probeta = 7.50 cm

Tabla 6.25 Datos mezcla 10: probeta 1

	Fuerza kg	Deformación cm	Esfuerzo de Compresión kg/cm ²	$\Delta \delta$ cm	Módulo kg/cm ²
1	100	0.08	11.11	0.080	1041.67
2	200	0.11	22.22	0.110	1515.15
3	400	0.2	44.44	0.200	1666.67
4	600	0.3	66.67	0.300	1666.67
5	800	0.42	88.89	0.420	1587.30
6	1000	0.78	111.11	0.780	1068.38
7	1078	1.68	119.78		

Módulo Promedio kg/cm ²
1616.16

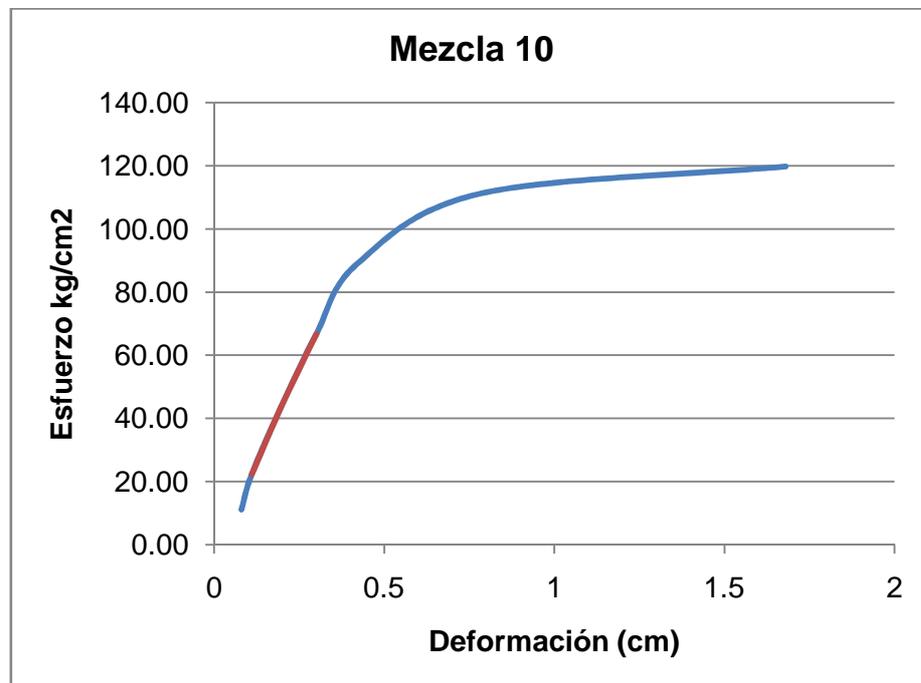


Figura 6.31 Curva esfuerzo- deformación: mezcla 10 compresión

6.2.3. ANÁLISIS DE DATOS

Resultados Ensayos a Flexión

Tabla 6.26 Módulos y esfuerzos a flexión

N. Mezcla	Componentes	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia	Carga de Rotura	Esf. Rotura
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg	kg/cm ²
2	100% HDPE	7992.06	315.00	47.00	493.50
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	6368.06	134.40	45.00	241.92
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	2295.52	26.88	8.00	43.01
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	2212.25	78.89	20.00	157.78
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	3108.89	80.64	24.00	129.02
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	6474.88	118.33	28.00	220.89
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	8266.17	157.50	20.00	210.00
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	3274.59	76.53	22.00	84.18
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	2414.54	93.33	40.00	124.44

El esfuerzo máximo calculado y mostrado en la tabla anterior es el mayor esfuerzo de la zona elástica, donde podemos utilizar la Ley de Hooke para conocer los módulos de elasticidad para cada mezcla.

Tabla 6.27 Deformación a flexión

N. Mezcla	Componentes	δ Elástica Máxima	δ Rotura
		cm	cm
2	100% HDPE	1.3	2.52
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	0.592	1.2
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	0.32	0.52
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	0.98	1.15
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	0.76	1.05
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	0.56	1.05
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	0.668	1.04
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	0.57	0.68
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	0.92	2

En base a estos resultados se graficará cuadros comparativos de las propiedades calculadas tanto a flexión como a compresión.

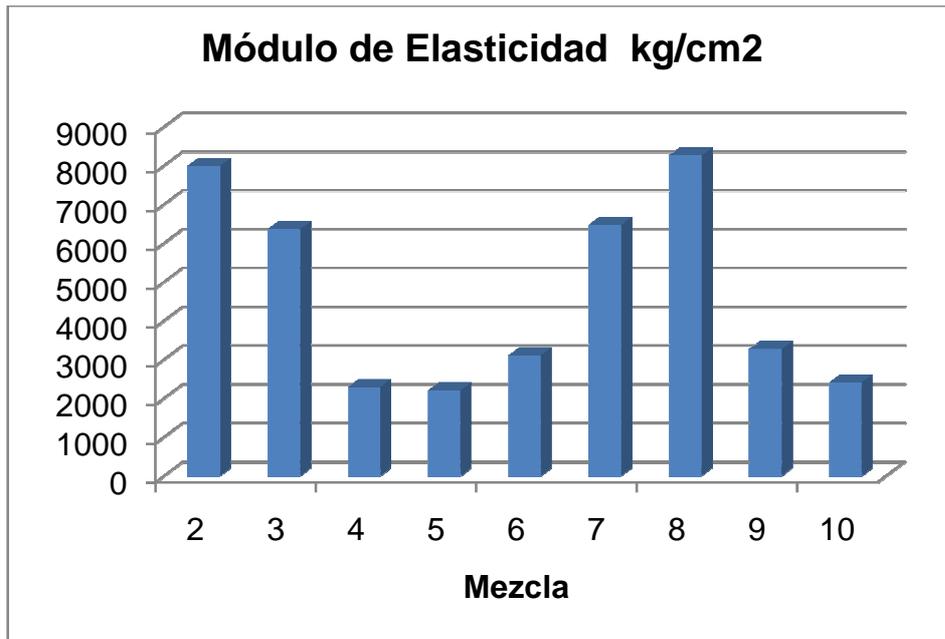


Figura 6.32 Comparación módulo de elasticidad: flexión

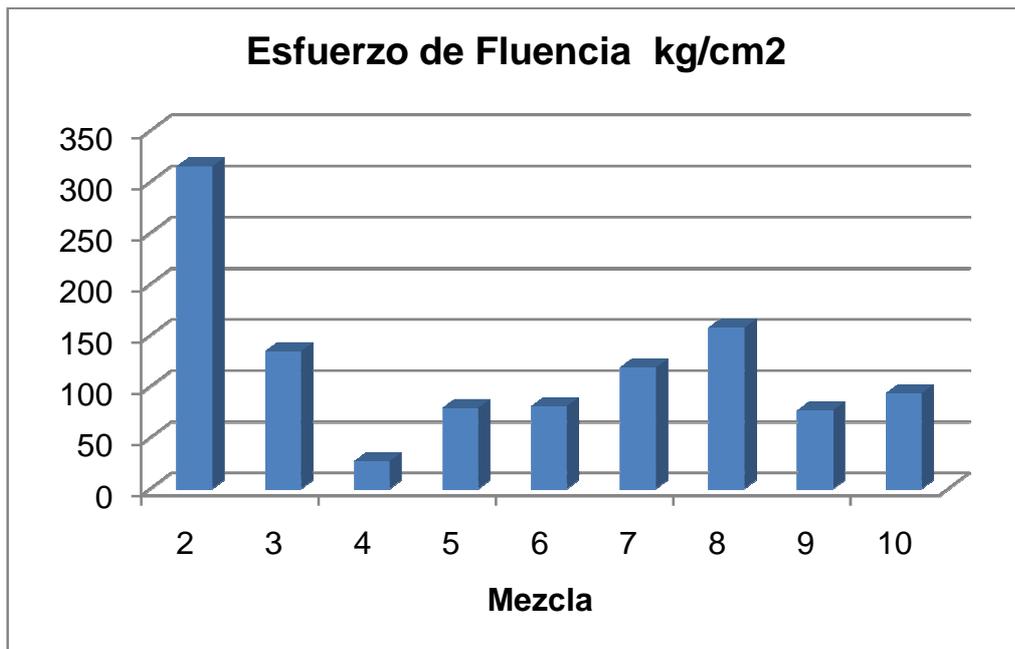


Figura 6.33 Comparación esfuerzo de fluencia: flexión

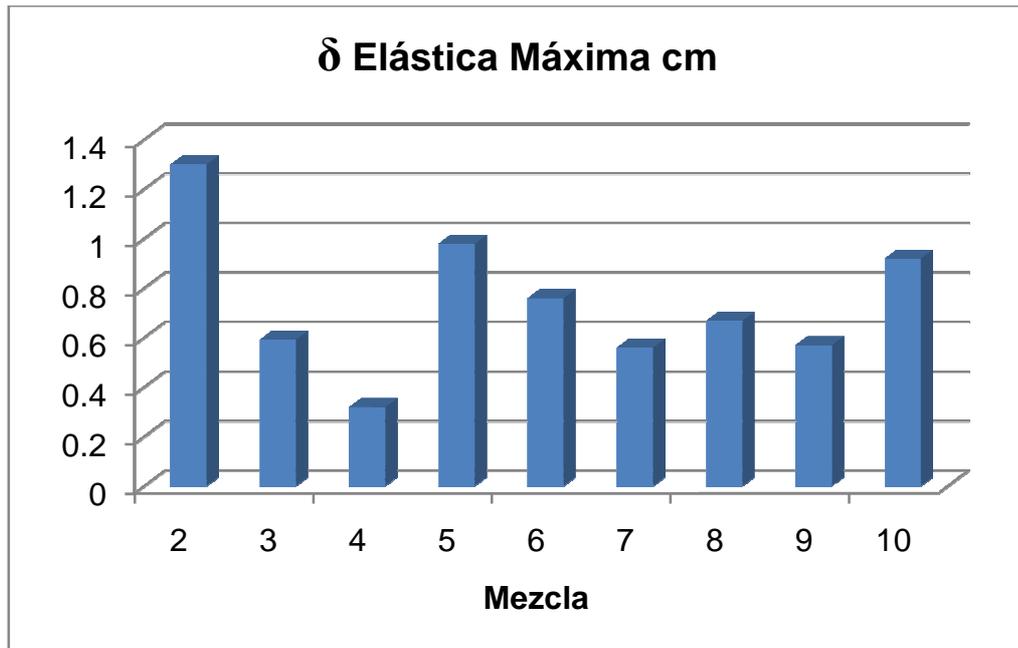


Figura 6.34 Comparación deformación elástica máxima: flexión

- La mezcla N. 2 muestra una gran resistencia a la flexión en el rango elástico, respecto al resto de las muestras, esto se debe a las propiedades del HDPE que es un polímero cristalino en la mayor parte de su estructura, es decir es un material más flexible.
- La contribución del HDPE con el aumento de flexibilidad en la muestra se lo puede observar en la gráfica de Esfuerzo máximo de cada mezcla, principalmente en las mezclas 5, 6, 7 y 8, donde se ve el aumento gradual de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de HDPE en la mezcla estudiada.
- El efecto de presión es de gran importancia para la resistencia a la flexión de la placa. Como se observa la mezcla N.4 es la de menor resistencia debido a la presión usada para compactarla, que fue de 1040 psi aproximadamente, significando la mitad de la presión usada para con el resto de las mezclas. Lo mismo sucede con la mezcla N.8 en relación a la N.7. La N.8 posee una mayor resistencia gracias a la presión de compactación de 2079 psi.

- El uso de la cascarilla de arroz ayuda a aumentar la resistencia a la flexión, como se puede ver en la mezcla N.3 comparada con las mezclas N. 5 y N.6. Estas últimas poseen un 10% de cascarilla, mientras que la N.3 tiene un 20% de cascarilla en su estructura.
- Al agregar más PET en la mezcla se consigue disminuir la resistencia a la flexión como se ve en la gráfica al comparar la mezcla N.3 con la N.5, o también la mezcla N.9 y N10.
- Las mayores deflexiones elásticas corresponden a las probetas con mayor cantidad de HDPE, como se mencionó anteriormente se debe a sus características de alta flexibilidad.

Resultados ensayos a Compresión

Tabla 6.28 Módulos y esfuerzos a compresión

N. Mezcla	Componentes	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia	Carga de Rotura	Esf. Rotura
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg	kg/cm ²
1	100% PET	1163.61	34.72	234	40.625
2	100% HDPE	3410.22	200.00	1298.00	324.50
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	3070.40	112.00	935.00	149.60
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	2187.31	48.00	458.00	73.28
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	2358.41	103.31	670.00	138.43
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	2124.84	80.00	684.00	109.44
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	1764.29	82.64	546.00	112.81
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	2457.36	150.00	822.00	205.50
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	3190.39	76.53	948.00	120.92
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	1616.16	66.67	1078.00	119.78

Tabla 6.29 Deformación a compresión

N. Mezcla	Componentes	δ Elástica Máxima	δ Rotura
		cm	cm
1	100% PET	0.16	0.2
2	100% HDPE	0.28	0.92
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	0.2	0.36
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	0.136	0.36
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	0.24	0.38
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	0.24	0.41
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	0.24	0.36
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	0.28	0.44
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	0.16	0.34
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	0.3	1.68

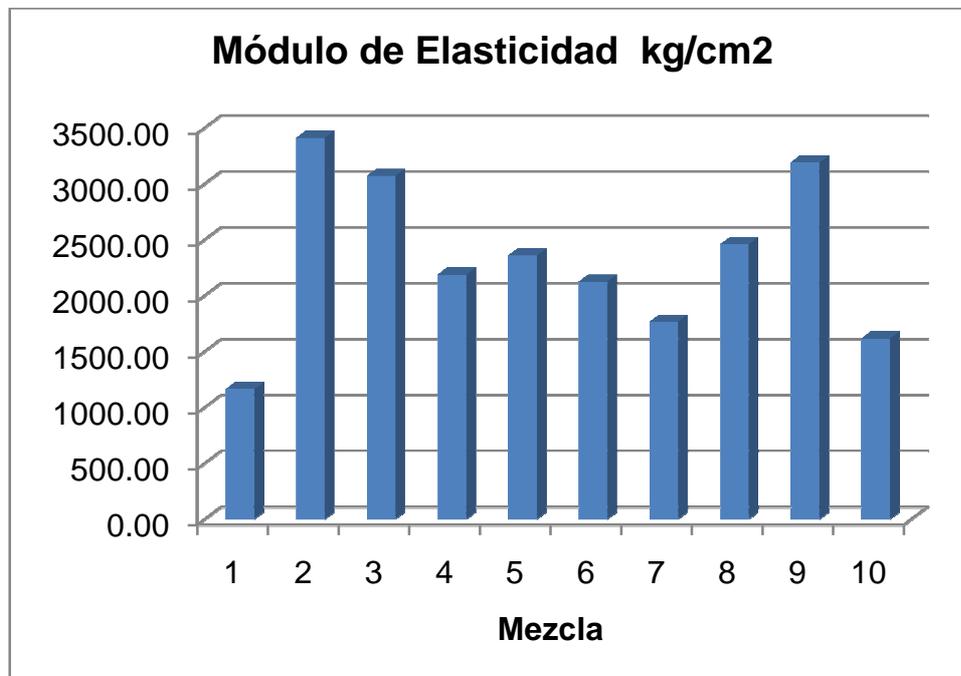


Figura 6.35 Comparación módulo de elasticidad: compresión

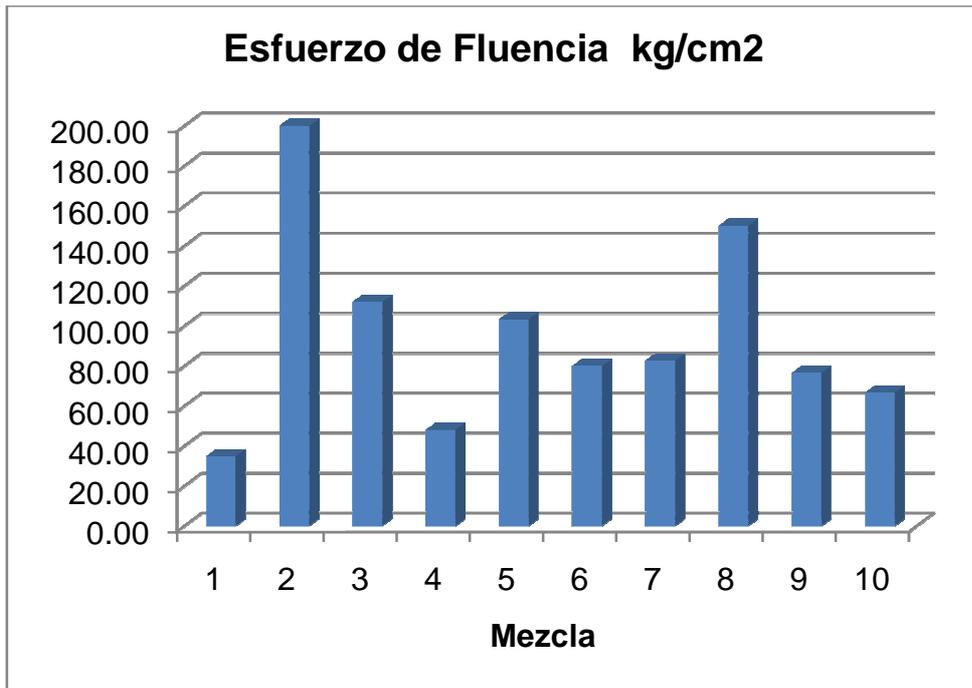


Figura 6.36 Comparación esfuerzo de fluencia: compresión

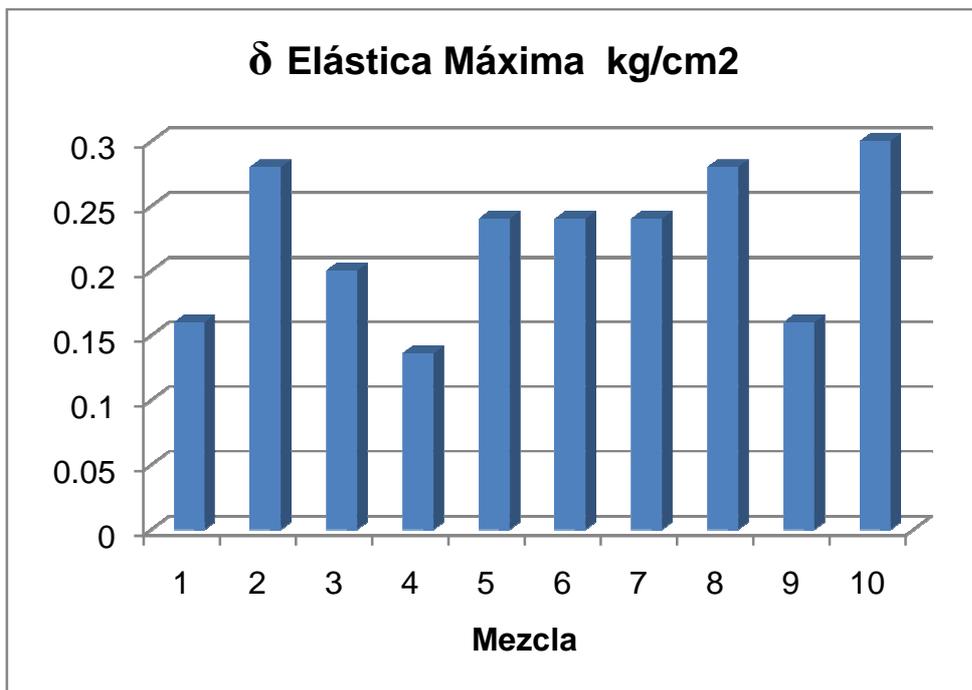


Figura 6.37 Comparación deformación elástica máxima: compresión

- En los resultados de los ensayos de compresión realizados podemos observar que existe una mayor resistencia a la compresión si existe un mayor porcentaje de PET en la mezcla, como se puede observar al comparar la mezcla 5 con la mezcla 6, también al comparar la N.9 con la N.10. Pero esta cantidad de PET no debe ser tan grande ya que la resistencia a la compresión disminuye considerablemente como se observa el esfuerzo de la mezcla 1.
- Las mezclas N.5 y N.9 poseen más resistencia a la compresión que a flexión respecto a las mezclas N.6 y N10 respectivamente. Un posible factor es el porcentaje de PET en su estructura que aumenta la resistencia del material a este tipo de esfuerzo normal.
- Al comparar la mezcla N.2 con la N.8 se puede concluir que la adición del PET disminuye la resistencia a la compresión, sin tener ningún problema relacionado con las dimensiones de la probeta ya que ambas son iguales.
- Como se ve la baja presión también afecta a la resistencia a la compresión de la mezcla, como es la N.4 y N.7 en relación con el resto de mezclas.
- El HDPE también tiene una buena resistencia a la compresión, como se puede observar posee un esfuerzo máximo de 200 kg/cm².
- Los módulos de elasticidad muestran que la mezcla más rígida es la N.2 la misma que posee cierta ductilidad a comparación del resto de mezclas que tienden a ser frágiles, a excepción de las que tiene un mayor porcentaje de HDPE que son flexibles.

Tabla 6.30 Características de las placas obtenidas

	Mezcla	Espesor cm	Masa (kg)	Volumen cm ³	densidad (gr/cm ³)
1	100% PET	2.4	2.18	2160	1.01
2	100% HDPE	2	1.47	1800	0.82
3	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	2.5	1.96	2250	0.87
4	40% PET, 40% HDPE, 20% Cas	2.5	1.76	2250	0.78
5	50% PET, 40% HDPE, 10% Cas	2.2	2.12	1980	1.07
6	40% PET, 50% HDPE, 10% Cas	2.5	1.7	2250	0.76
7	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	2.2	1.64	1980	0.83
8	45% PET, 45% HDPE, 10% Cas	2	1.67	1800	0.93
9	70% PET, 25% HDPE, 5% Cas	2.8	1.89	2520	0.75
10	25% PET, 70% HDPE, 5% Cas	3	2.09	2700	0.77

Tabla 6.31 Comparación esfuerzos flexión-compresión

N.	Flexión	Compresión
	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo Máximo
	kg/cm ²	kg/cm ²
2	315.00	200.00
3	134.40	112.00
4	26.88	48.00
5	78.89	103.31
6	80.64	80.00
7	118.33	82.64
8	157.50	150.00
9	76.53	76.53
10	93.33	66.67

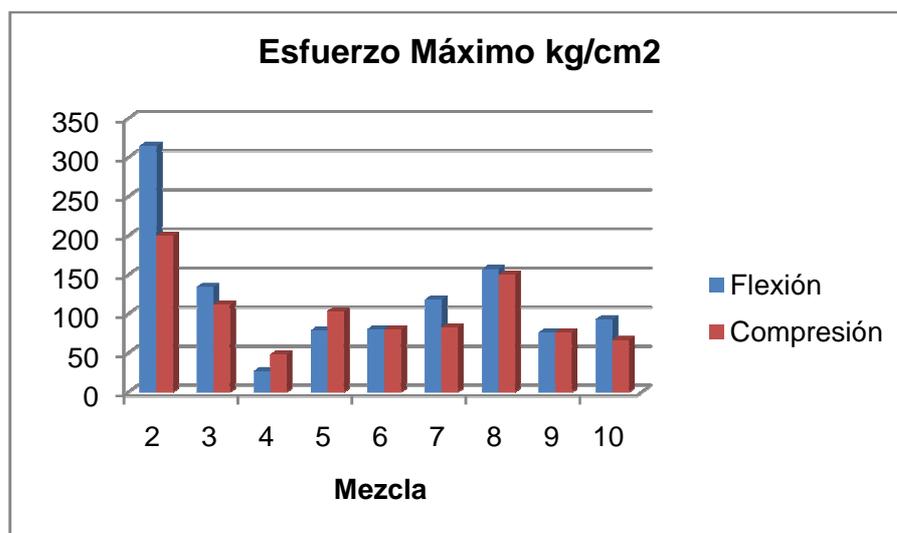


Figura 6.38 Comparación esfuerzos máximos

Tabla 6.32 Esfuerzos de distintos tipos de maderas

Tipo de Madera	Esfuerzo Flexión kg/cm2	Esfuerzo Compresión Paralela kg/cm2	Esfuerzo Compresión Perpendicular kg/cm2
Eucalipto	302	190	49.5
Chanul	431	267.5	78.5
Aguacatillo	172	112	33
Colorado	373.5	215.5	55
Pino	134	81	24.5

Tabla 6.33 Esfuerzos de tableros de madera procesados

Tablero	Esfuerzo Flexión kg/cm2	Esfuerzo Compresión Paralela kg/cm2
MDF	350	230
Aglomerado	200	130

Fuente: NOVOPAN S.A

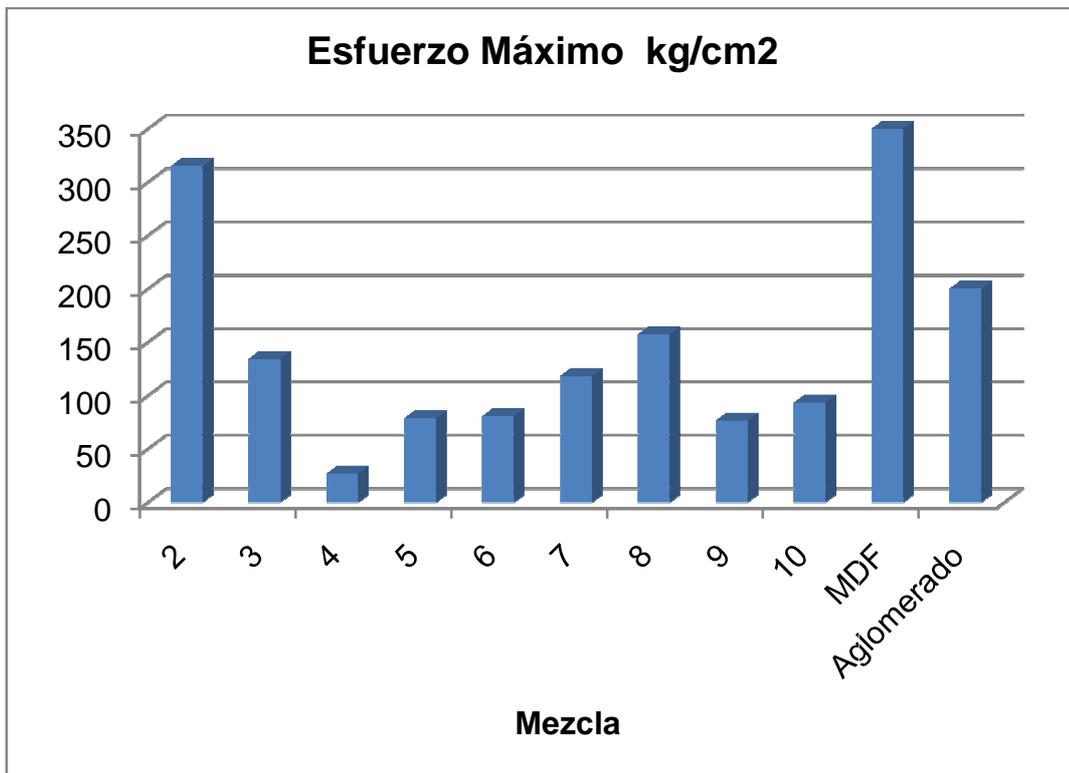


Figura 6.39 Comparación con tableros de madera: flexión

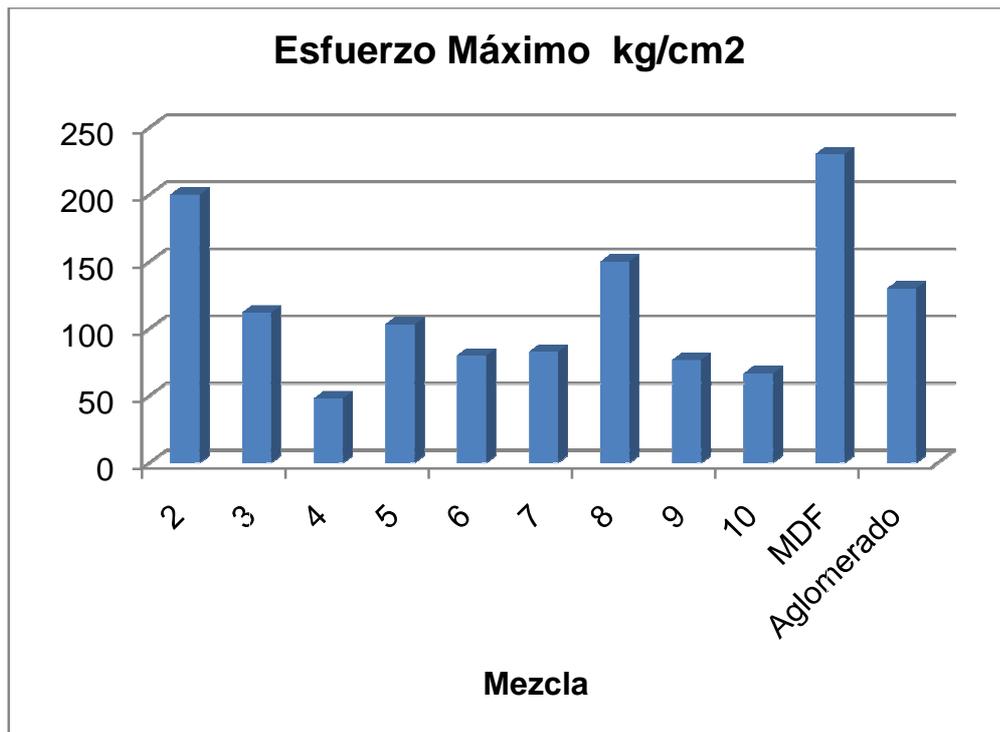


Figura 6.40 Comparación con tableros de madera: compresión

- Las probetas de las mezclas N.4 y N.5 resisten más la compresión que la flexión. La mezcla N.9 se mantiene en su esfuerzo. En cuanto al resto su resistencia es mayor a flexión.
- El HDPE posee una mayor diferencia entre su resistencia de compresión y flexión siendo esta última la mayor gracias a su gran flexibilidad.
- Al comparar las curvas Esfuerzo vs. Deformación en el ensayo de compresión es factible observar que el aumento de porcentaje del HDPE en las mezclas provoca un comportamiento dúctil por parte de la probeta, a diferencia del aumento de la cantidad de PET que muestra un comportamiento frágil en el resultado.
- Cuando se aplica una carga determinada a las probetas en el ensayo de compresión éstas presentan en una zona específica un punto claro de ruptura, esto significa que en esta zona el material presenta cierta fragilidad.

- Entre las probetas extraídas de las mezclas 6, 7, y 8 se identifica de forma evidente que mientras aumenta el porcentaje del HDPE en la mezcla esta tiende a aumentar la deformación elástica.
- En los ensayos de compresión las probetas presentan un fisura extensional, este punto es representado por el esfuerzo de ruptura
- Al superar el límite elástico y aumentar gradualmente la carga, el material presenta un incremento sustancial en su deformación la cual se vuelve permanente o plástica.
- El esfuerzo de flexión máximo soportado por la mezcla 2 es el más cercano a las propiedades del MDF sometido flexión. También sus propiedades se acercan a las del eucalipto, es decir el plástico presenta características similares a las de los tableros de madera.
- El aglomerado es superado en su resistencia a la flexión por la mezcla N.2, también es superado en su resistencia a la compresión por la mezcla 8, teniendo esta última 150 kg/cm^2 .

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar la evaluación de los gastos generados en el desarrollo del proyecto tanto en la fabricación de la máquina como en la obtención del producto que sería el plástico prensado, es necesario conocer y diferenciar las variables que intervienen las cuales son:

Materia prima directa: son los materiales que intervienen o son parte directa del equipo como son las placas de acero, perfiles, fibra cerámica, planchas de tol, cables, pernos, resistencias, etc.

Mano de obra directa: mano de obra que interviene en los procesos de fabricación directamente, es decir que son parte de la construcción del equipo, como soldadura, servicio de corte, doblado, taladrado, fabricación de resistencias eléctricas, etc.

Materia prima indirecta: materiales que no forman parte de la máquina pero intervienen en el proceso de construcción del equipo, por ejemplo pintura, cepillo metálico, lijas, etc.

Mano de obra indirecta: mano de obra que ha intervenido en el desarrollo del proyecto pero que no forma parte de la construcción del equipo, pago a director y codirector, transporte, etc.

Imprevistos: Este rubro es el 10% del valor máximo entre los valores de mano de obra directa, mano de obra indirecta, materia prima directa y materia prima indirecta. Este valor es establecido con el fin de sustentar cualquier tipo de eventualidad en el transcurso del proyecto, por ejemplo daño de algún elemento del equipo por fallas en la fabricación, necesidad de algún elemento o conexión para mejorar el desempeño del equipo, etc.

A continuación se detallan todos los costos nombrados anteriormente:

Tabla 7.1 Costos directos

<u>COSTOS DIRECTOS (\$)</u>				
Elemento	Material / Observación	Mano de Obra Directa	Materia Prima Directa	CostoTotal x Elemento
Prensa	Capacidad 15 Ton		260	260
Molde	Tol de e=1.1 mm	15	7.5	22.5
Agarraderas	Tubo Cilíndrico $\Phi=1/2"$, e= 1 mm, Electrodo 6011	3	1.5	4.5
Base de Molde	Placa de acero de 6 mm, Electrodo 6011	20	19.5	39.5
Varilla Cuadrada	Longitud 1.5 m, 1.1X1.1	4	3.5	7.5
Placas Inferiores	Longitud 1 m, e=2 cm	3	7	10
Cubierta Inferior	Tol de e=1.1 mm	10	9	19
Cubierta Superior	Tol de e=1.1 mm	2	5	7
Placa Superior	Placa de acero de 6 mm, Electrodo 6011	2	5.5	7.5

Continuación Tabla 7.1

Cubierta Placa Superior	Tol de e=1.1 mm	2	4	6
Placa Inferior Resistencia	Acero 300x300x15 mm	4	12.2	16.2
Placas de moldeo	Tol de e=2 mm	2	8	10
Caja de Control	Tol de e=1.1 mm	30	15	45
Aislante	Fibra Cerámica: 2 m2, e= 2.54 cm		30	30
Pernos y Tuercas	Sujeción de Elementos		3	3
Manómetro	Bourdon - Conexión	20	25	45
Acople NPT	Tubo de cobre 1/4"	5		5
Cinta Autofundente	Conexiones Eléctricas		12	12
Resistencias Eléctricas	Generación de Calor	40	60	100
Conexión Sistema Eléctrico	Funcionamiento	40		40
Control Digital de Temperatura	Estabiliza Temperatura		65	65
Contactador	32 AMP, 240 V		18.54	18.54
Selector	2 posiciones, perilla		2.19	2.19
Termocupla Tipo J	Sensor de Temperatura		13.83	13.83
Brake	20 AMP		5	5
Luz Piloto	Señal de Encendido		2.31	2.31
Enchufe	220 V		4.5	4.5
Cable # 10 Siliconado	6 m		16.8	16.8
Cable Gemelo # 14 Envuelto	3 m		3.45	3.45

Continuación Tabla 7.1

Cable # 16 Siliconado	4 m		5	5
Tubo Flexible	Selección de Cables y Conexiones		10	10
Teflón	Conexiones		2	2
Taipe	Conexiones		2.5	2.5
Plástico Molido	Materia prima de placas	3	7	10
	Subtotal	205	645.82	
	IVA	24.6	77.50	
	Total	229.6	723.32	

Tabla 7.2 Costo mano de obra indirecta

Costo Mano de Obra Indirecta (\$)			
Detalle	Cantidad horas	Valor Unitario	Valor Total
Director	30	15	450
Codirector	30	15	450
Transporte	20	8	160
	Subtotal		1060
	IVA		127.2
	Total		1187.2

Tabla 7.3 Costo materia prima indirecta

Costo Materia Prima Indirecta (\$)				
Cantidad	Detalle	Observación	Valor Unitario	Valor Total
1lt	Pintura Esmalte	Molde y placas	5	5
1lt	Tiñer	Molde y placas	2	2
1	Cepillo Metálico	Limpiar a las placas	3	3
3	Lijas de Hierro	Molde y placas	2	6
3	Brocas para acero	Placas	1.6	4.8
1	Disco de Corte	Tol y placas	3.5	3.5
250	Energía Eléctrica KWh	Funcionamiento	0.07	17.5
		Subtotal		41.80
		IVA		5.02
		Total		46.82

Tabla 7.4 Costo de producción

Costo de Producción	
Mano de Obra Directa	229.60
Materia Prima Directa	723.32
Mano de Obra Indirecta	1187.20
Materia Prima Indirecta	46.82
Imprevistos	118.72
Costo Total	2305.65

Depreciación

El equipo fabricado durante el período de uso se debe de reconocer y registrar su desgaste, debido a que se reduce sistemáticamente el valor del activo por su uso o caída en desuso por otros avances tecnológicos y el uso excesivo del mismo. Entre otras causas de depreciación se encuentra la destrucción parcial o total del equipo. Resulta una tarea complicada calcular con exactitud el valor monetario de la depreciación por tanto se han desarrollado ciertos métodos técnicos que permiten aproximar la cifra que será contabilizada por el desgaste físico. Para el cálculo de depreciación del equipo construido se usará el método de Tasa Constante el cual permite depreciar la máquina en mayor cantidad al inicio, y luego con el pasar de los años de la vida útil se deprecia en menor cantidad, es decir es un valor más real.

Para usar el método de Tasa Constante se consideran las siguientes variables:

- Número de años de vida útil del equipo: 10 años
- Número de años máximo a depreciarse: $n = 6$ años.
- Valor inicial del equipo: $V_0 = 2800$ USD
- Valor final o residual del equipo: $V_r = 300$ USD

y la siguiente fórmula:

$$\phi = 1 - \sqrt[n]{\frac{V_r}{V_0}} \quad (7.1)$$

Ø Tasa constante de Depreciación

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 7.1 tenemos:

$$\emptyset = 0,31$$

La depreciación por Tasa constante permite calcular el desgaste por períodos lo que se calcula de la siguiente manera:

$$a_i = \emptyset * V_{i-1} \quad (7.2)$$

a_i : depreciación del período i

V_{i-1} : valor del equipo al final del período i-1

Realizando el cálculo de la depreciación del equipo para los 6 años establecidos tenemos la siguiente tabla:

Tabla 7.5 Depreciación del equipo

Años	ai	Vi
0	-	2800
1	868	1932
2	598.92	1333.08
3	413.25	919.83
4	285.15	634.68
5	196.75	437.93
6	135.76	302.17

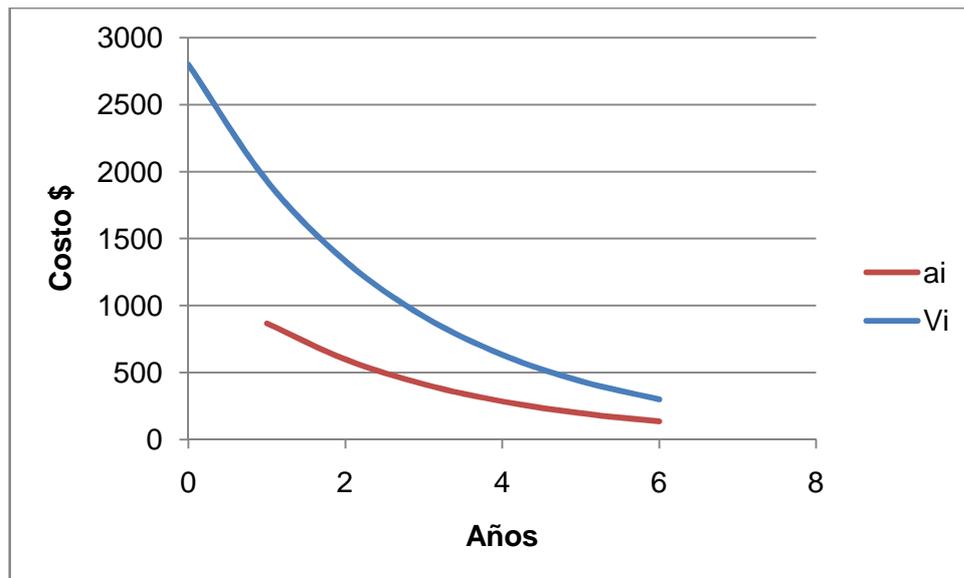


Figura 7.1 Depreciación del equipo

6.4. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero del proyecto se lo relacionará principalmente con la fabricación de los tableros MDF y aglomerados, ya que son productos que podrían ser reemplazados en un futuro con el uso de plástico reciclado y sometiéndolo al proceso de Termopresión para fabricar tableros de características similares o quizás mejores que los de madera aglomerada. Esto sería después de perfeccionar la técnica de termoprensado tal que se logre un gran acabado superficial, una exactitud de dimensiones y mejoramiento de propiedades en general.

Una razón para el reemplazo de tableros MDF por los de plástico es la reducción del impacto ambiental que se lograría al disminuir la tala indiscriminada de árboles y al usar plástico reciclado que es un gran problema de contaminación del medio ambiente por la dificultad de estos materiales a degradarse y la emisión de agentes contaminantes al estar sometidos a condiciones ambientales como el sol, lluvia y contacto con otros materiales de mayor toxicidad, es decir sería una solución a favor del medio ambiente.

Para realizar una comparación económica entre los dos productos en cuestión debemos conocer el costo de cada uno. Como las dimensiones de nuestra placa obtenida en la Termoprensa es de 30x30x3 cm aproximadamente, se la debe comparar con un MDF de las mismas dimensiones, en el siguiente cuadro se observa el costo de ambos:

Tabla 7.6 Precios comerciales de principales tableros de madera

Producto		Espesor mm	Precio Plancha \$	Precio (30x30 cm)
Triplex	1.20x2.40 m	18	39	1.2
MDF	2.14x2.44 m	25	71.5	1.23
Aglomerado	2.14x2.44 m	25	29.5	0.5

Tabla 7.7 Precios de placas de plástico de espesores similares

Placa de plástico reciclado 30x30 cm					
Espesor mm	Cantidad kg.	Costo M. Prima \$	Costos de Producción	Utilidad	Precio
18	0.85	0.25	0.63	0.1	0.98
25	1.5	0.3	0.85	0.15	1.3

Lo mostrado anteriormente es una comparación preliminar realizada con el fin de mostrar una opción que puede llegar a ser factible dependiendo de estudios o análisis más detallados, tanto en el perfeccionamiento de la técnica de Termoprensado, como en estudios de mercado. Todo eso influirá en el costo final de una placa de plástico reciclado, bajando su precio al tener una producción en serie, al igual que la industria maderera.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.5. CONCLUSIONES

1. Las pruebas preliminares al 100% de PET muestran una evidente fragilidad en su estructura, a comparación de una muestra con HDPE que es más resistente y flexible.
2. En el moldeo de una muestra al 100% de PET se percibe una emisión de gases más fuertes que cualquier otra muestra. Esto es debido a que al elevar la temperatura de este material se desprenden las sustancias que los componen como son ácidos, CO₂, etc., que son prácticamente insoportables para el operario.
3. La emisión de gases en las mezclas que contienen bajo porcentaje de PET son perceptibles pero no generan mayor molestia en las vías respiratorias del operario el momento de controlar el proceso y de extraer la muestra ya sólida del molde.
4. El tiempo de moldeo es de suma importancia para la obtención de una muestra más homogénea. Con un tiempo aproximado de 1 hora de calentamiento del plástico no se logra que las partículas de la parte media de la placa se fusionen por el calor y prácticamente no son afectadas. Esto

se debe a la baja conductividad térmica del plástico, demorando la transferencia de calor, también se debe a la formación de una barrera aislante al compactar el material dificultando el flujo de calor. Por lo cual el tiempo aumentó a un promedio de 2 horas, a partir de finalizado el precalentamiento del plástico, logrando mejorar las características de la muestra.

5. La adherencia del HDPE al acero es muy grande, lo que dificulta su extracción, pero se logra un mejor acabado en la superficie. Por otro lado la mezcla de cascarilla de arroz con HDPE tiene una gran adherencia al metal pero el acabo en la superficie es mucho menor.
6. El uso de cascarilla de arroz en la mezcla produce capas en su estructura tal que al momento de adherirse al metal se separe del resto de la placa al extraerla y dañando la muestra. También al colocar 20 % de cascarilla, esta se quemaba al mantener su temperatura a 180 C provocando que la placa se desintegre ya que se carbonizó una parte pequeña, haciendo que la muestra se vuelva frágil.
7. La muestra sometida a 5 toneladas (1000 psi) mostró muy poca unión entre las partículas, desintegrándose en cierta parte al momento de su extracción, a comparación de las otras placas obtenidas con 10 toneladas (2000 psi).
8. Las curvas de Esfuerzo vs. Deformación muestran materiales con cierto grado de ductilidad como es la mezcla N.2, N3 y N.10, muestras que poseen mayor porcentaje de HDPE.
9. La mezcla 8 tiene un módulo de rigidez a la flexión bastante alto al igual que la mezcla 2, pero esta última presenta mayor ductilidad que la anterior. La rigidez alta de la mezcla N. 8 se atribuye a la composición 45% PET, 45% HDPE y 10% Cascarilla.
10. Algunas placas poseen imperfecciones en sus superficies producto de una rápida fusión del material que no permite obtener un buen acabado.

11. La placa con mayor porcentaje de HDPE posee un excelente acabado superficial, ya que este polímero actúa como plastificante en toda la superficie de la placa.
12. El proceso dio como resultado un material con excelentes características mecánicas, por esto se podría generarlo en gran cantidad previendo las diversas variables que influyen en el proceso para poder mejorarlo.
13. La acumulación de rebabas producto de la fabricación de las placas dentro y afuera del molde provoca dificultad al momento de ingresar o extraer el material plástico.
14. La prensa puede ser usada para extraer la placa de plástico ejerciendo una fuerza en el agujero en la base del molde secundario.

6.6. RECOMENDACIONES

1. El control total sobre las variables del proceso como temperatura, presión, tiempo de fusión, aislamiento, enfriamiento, extracción de la placa ayudaría a obtener un material en mejores condiciones, es decir una exactitud de medidas, mejor acabado superficial, menor tiempo de fabricación, etc.
2. El proceso de Termopresión debe ser realizado por un operador que use primordialmente mascarilla para proteger sus vías respiratorias debido a los gases que emiten los plásticos al ser calentados para su prensado, los mismos que pueden ser perjudiciales si se está expuesto con frecuencia.
3. No es necesario que el operario se mantenga todo el tiempo frente al equipo respirando los gases productos de la fabricación de las placas por inofensivos que parezcan.

4. Para facilitar la fusión de la mezcla se recomienda un sistema de calentamiento externo que mantenga a alta temperatura a la mezcla para posteriormente ser introducida en el molde.
5. La adherencia al metal por parte del HDPE es bien fuerte por lo que se recomienda que al moldear este polímero se coloque mayor cantidad de vaselina de petróleo para facilitar de cierta manera su extracción.
6. La cantidad de cascarilla de arroz en la mezcla no debe superar el 20% de la masa total para evitar imperfecciones en la placa. La temperatura de fusión al tener este porcentaje de cascarilla debe ser mucho menor a 180 C para no quemar la mezcla, se recomienda una temperatura de 165 C.
7. La presión es importante para obtener un material con alta resistencia, pero esta no debe exceder la presión para la cual está diseñada la máquina ya que se obtiene grandes pérdidas de material por rebabas, lo mismo sucede al colocar exceso de material y compactarlo. Cabe recordar que es una máquina diseñada para hacer pruebas del comportamiento del plástico sometido a Termopresión hasta un volumen de 2700 cm³, no para un proceso industrial de fabricación de placas de plástico.
8. Un material resistente debe tener un alto porcentaje de HDPE, recomendando su uso para obtener propiedades de resistencia y flexibilidad al ser sometido a esfuerzos.
9. La mezcla N. 8 al alcanzar propiedades satisfactorias se recomienda para diferentes aplicaciones como cubiertas, tableros, etc.
10. Para lograr una placa con menos imperfecciones en la superficie no se debe levantar la placa superior durante la fusión del plástico, ya que este se adhiere al metal deformando la superficie de la muestra, requiriendo más tiempo de calentamiento para volver a uniformizar la superficie, demorando el proceso.

11. Para lograr un mejor acabado en la superficie de la placa se recomienda colocar una ligera capa de HDPE en las dos superficies de la muestra.
12. Para la industrialización del proceso se necesitaría un sistema electrohidráulico lo que permitiría agilizar la fabricación de planchas de plástico reciclado, el mismo que debe tener dos cilindros, uno superior para compactar el plástico y otro para extraer la placa termoprensada con mayor facilidad.
13. Para tener en buenas condiciones de funcionamiento el equipo se debe ejecutar un mantenimiento preventivo en la matriz, principalmente en las juntas soldadas del molde secundario, ya que son las más críticas debido a la presión que soportan. La limpieza es de vital importancia debido a las impurezas que pueden ingresar por rebabas producidas por la fabricación de placas de plástico. Seguir Anexo Mantenimiento del Equipo.
14. Para la extracción de la placa se recomienda la presencia de dos operadores para descender la matriz tal que permita ingresar el molde secundario boca abajo y con la ayuda de la prensa extraer el conjunto placas y mezcla ejerciendo presión por la abertura de expulsión.

ANEXOS

ANEXO A: CARTA DE SATISFACCIÓN

CARTA DE SATISFACCIÓN

Sangolquí, 22 de marzo de 2010

Señor Ingeniero

Emilio Tumipamba

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

De mi consideración:

En mi calidad de Director del proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MOLDEO POR TERMOPRESIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS, CAPACIDAD 2700 cm³.” ejecutado por los señores Fabricio Vega Estrella y Franklin Xavier Maldonado egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica, me permito certificar que luego de haber procedido a la revisión del contenido, dicho proyecto cumple con todos los parámetros científicos e investigativos acordes a su formación profesional por lo que extiendo mi entera satisfacción.

Atentamente

Ing. José Pérez
DIRECTOR DEL PROYECTO

ANEXO B: TABLAS DE PROPIEDADES TERMO - FÍSICAS

Tabla 2.8 Propiedades térmicas de los polímeros

Polímero	Calor específico (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)	Calor latente de fusión (kJ kg ⁻¹)	Temperatura en el proceso (°C)	Calor total para proceso (kJ kg ⁻¹)
Acrilonitrilo butadieno estireno	1.47	–	225	300
Copolímero del acetal	1.47	163	225	465
Polimetil metacrilato	1.47	–	225	300
Nylon 6.6	1.67	130	280	570
Policarbonato	1.26	–	300	350
Poliétileno, de alta densidad	2.30	209	240	720
Polipropileno	1.93	100	250	550
Poliestireno	1.34	–	200	240
Pseudocloruro de polivinilo	1.00	–	180	160
Acetato de celulosa	1.51	–	195	260
Difeniloxazol	1.34	–	310	390

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados^a

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)												
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)													
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1						
						216	384	490	574	680	975	609	654						
Aceros al carbón																			
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0								
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			487	559	685	1169								
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			58.7	48.8	39.2	31.3								
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			487	559	685	1168								
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)								49.8	44.0	37.4	29.3								
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)								501	582	699	971								
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)								42.2	39.7	35.0	27.6								
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)								487	559	685	1090								
Aceros con cromo (bajo)																			
1 Cr–1 Mo–Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9								
1 Cr–1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			492	575	688	969								
1 Cr–V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			42.0	39.1	34.5	27.4								
1 Cr–V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)								492	575	688	969								
1 Cr–V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)								46.8	42.1	36.3	28.2								
1 Cr–V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)								492	575	688	969								
Aceros inoxidables																			
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4								
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	512	559	585	606								
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	272	402	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7						
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.2	18.3	21.3	24.2								
								504	550	576	602								
								15.8	18.9	21.9	24.7								
								513	559	585	606								

TABLA A.3 Continuación

Materiales y sistemas de aislamiento

Descripción/composición	Propiedades típicas a 300 K		
	Densidad, ρ (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m · K)	Calor específico, c_p (J/kg · K)
Manta y fibra			
Fibra de vidrio, revestida de papel	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Fibra de vidrio, recubierta; forro de tubo	32	0.038	835
Tablero y losa			
Vidrio celular	145	0.058	1000
Fibra de vidrio, unión orgánica	105	0.036	795
Poliestireno, expandido			
Estirado (R-12)	55	0.027	1210
Lechos moldeados	16	0.040	1210
Lámina de fibra mineral; material de techado	265	0.049	—
Madera, triturada/encementada	350	0.087	1590
Corcho	120	0.039	1800
Relleno suelto			
Corcho, granulado	160	0.045	—
Óxido de silicio diatómico, polvo grueso	350	0.069	—
	400	0.091	—
Óxido de silicio diatómico, polvo fino	200	0.052	—
	275	0.061	—
Fibra de vidrio, vaciado o soplado	16	0.043	835
Vermiculita, hojuelas	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formado/espumado de origen			
Granos de lana mineral con aglomerantes de asbestos/ orgánicos, pulverizados	190	0.046	—
Mástique de corcho de acetato polivinilo; pulverizado o fratasado	—	0.100	—
Uretano, mezcla de dos partes; espuma rígida	70	0.026	1045
Reflectivo			
Hoja de aluminio que separa capas de vidrio harinosas; 10–12 capas, al vacío; para aplicaciones criogénicas (150 K)	40	0.00016	—
Hoja de aluminio y papel de vidrio laminado; 75–150 capas; al vacío; para aplicación criogénica (150 K)	120	0.000017	—
Polvo de óxido de silicio típico, al vacío	160	0.0017	—

TABLA A.3 Continuación

Aislamiento industrial

Descripción/composición	Temperatura máxima de servicio (K)	Densidad típica (kg/m ³)	Conductividad térmica típica, k (W/m · K), a varias temperaturas (K)																
			200	215	230	240	255	270	285	300	310	365	420	530	645	750			
Mantas																			
Manta, fibra mineral de metal reforzada	920	96–192											0.038	0.046	0.056	0.078			
	815	40–96											0.035	0.045	0.058	0.088			
Manta, fibra mineral, vidrio; fibra fina, unión orgánica	450	10				0.036	0.038	0.040	0.043	0.048	0.052	0.076							
		12				0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.049	0.069							
		16				0.033	0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.062							
		24				0.030	0.032	0.033	0.036	0.039	0.040	0.053							
		32				0.029	0.030	0.032	0.033	0.036	0.038	0.048							
		48				0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.045							
Manta, fibra de óxido de silicio-alúmina	1530	48														0.071	0.105	0.150	
		64														0.059	0.087	0.125	
		96														0.052	0.076	0.100	
		128														0.049	0.068	0.091	
Filtro, semirrígido; fieltro de unión orgánica laminado; sin unión	480	50–125						0.035	0.036	0.038	0.039	0.051	0.063						
	730	50	0.023	0.025	0.026	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.051	0.079						
	920	120												0.051	0.065	0.087			
Aislantes de bloques, tableros y tubería																			
Papel asbestino, laminado y corrugado														0.078	0.082	0.098			
4-pieques	420	190												0.071	0.074	0.085			
6-pieques	420	255												0.068	0.071	0.082			
8-pieques	420	300															0.061		
Óxido de magnesio, Silicato de calcio	590	185												0.051	0.055	0.061	0.075	0.089	0.104
	920	190												0.055	0.059	0.063	0.075	0.089	0.104

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Amoniaco (NH₃)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

TABLA A.11 Emisividad total, normal (n) o hemisférica (h) de superficies seleccionadas

Descripción/composición	Emisividad, ϵ_n o ϵ_h , a varias temperaturas (K)											
	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
Sólidos metálicos y sus óxidos^a												
Aluminio												
Altamente pulido, película	(h)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06						
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.06	0.07								
Anodizado	(h)			0.82	0.76							
Cromo												
Pulido o plateado	(h)	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14						
Cobre												
Altamente pulido	(h)			0.03	0.03	0.04	0.04	0.04				
Establemente oxidado	(h)					0.50	0.58	0.80				
Oro												
Altamente pulido o película	(h)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06				
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.07	0.07								
Molibdeno												
Pulido	(h)					0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.21	0.26
Limpado con chorro de perdigones, áspero	(h)					0.25	0.28	0.31	0.35	0.42		
Establemente oxidado	(h)					0.80	0.82					
Níquel												
Pulido	(h)					0.09	0.11	0.14	0.17			
Establemente oxidado	(h)					0.40	0.49	0.57				
Platino												
Pulido	(h)						0.10	0.13	0.15	0.18		
Plata												
Pulida	(h)			0.02	0.02	0.03	0.05	0.08				
Aceros inoxidables												
Típico, pulido	(h)			0.17	0.17	0.19	0.23	0.30				
Típico, limpio	(h)			0.22	0.22	0.24	0.28	0.35				
Típico, ligeramente oxidado	(h)						0.33	0.40				
Típico, altamente oxidado	(h)						0.67	0.70	0.76			
AISI 347, establemente oxidado	(h)					0.87	0.88	0.89	0.90			
Tantalio												
Pulido	(h)							0.11	0.17	0.23	0.28	
Tungsteno												
Pulido	(h)							0.10	0.13	0.18	0.25	0.29

TABLA J

ESFUERZOS BASICOS PARA MADERAS ECUATORIANAS EN ESTADOS VERDE/SECO

MADERA	UNIDAD	AGUACATILLO (A)	CHAMUL (CH)	COLORADO (C)	EUCALIFTO (E)	PIN (P)
DEFORMACION MECANICA						
FLEXION ESTADICA	kg/cm ²	156.00/188.00	294.00/468.00	355.00/392.00	274.00/330.00	104.00/1164
COMPRESION PARALELA	"	93.00/131.00	235.00/300.00	202.00/229.00	180.00/200.00	62.00/1100
COMPRESION PERPENDICULAR	"	28.00/ 38.00	66.00/ 89.00	45.00/ 65.00	39.00/ 60.00	20.00/129
CORTE PARALELO RADIAL	"	16.00/ 20.00	39.00/ 54.00	29.00/ 35.00	26.00/ 32.00	15.00/121
CORTE PARALELO TANGENCIAL	"	18.00/ 27.00	42.00/ 60.00	32.00/ 38.00	30.00/ 35.00	16.00/122
TENSION PARALELA	"	162.00/196.00	421.00/554.00	375.00/485.00	288.00/335.00	111.00/1178
TENSION PERPENDICULAR	"	8.00/ 11.00	16.00/ 25.00	13.00/ 16.00	12.00/ 15.00	7.00/119
MODULO DE ELASTICIDAD (a)	Ton/cm ²	78.81/ 92.73	164.75/194.27	147.01/195.28	112.56/141.73	67.21/162.63
(b)	"	69.71/ 82.71	147.90/174.82	134.34/169.62	96.27/125.62	54.24/165.35
(c)	"	65.92/ 78.53	140.89/166.72	129.06/158.94	89.49/118.91	48.84/158.20

RAFAEL D. HERRERA

ANEXO C: PROPIEDADES AISLANTE TÉRMICO

MANTA DE FIBRA CERÁMICA

Ref. 4780



VENTAJAS

- Excelente desempeño en el aislamiento térmico.
- Buena inercia química, excepto al contacto con los ácidos fluorhídrico, fosfórico y las bases fuertes.
- Gran estabilidad térmica.
- Baja acumulación térmica.
- Fuerte resistencia al desgarramiento y rotura tanto en caliente como en frío, gracias a las propiedades de las fibras centrifugadas y al doble cosido.
- Ligereza y resiliencia.
- Insensible al choque térmico.
- Buen aislamiento acústico.

TEMPERATURA

4780 : 1260° C

DESCRIPCIÓN

Esta manta se obtiene a partir de fibras centrifugadas las cuales poseen la cualidad de ser químicamente inertes.

No contiene ligantes, está cosida por las dos caras.

Es muy resistente antes y después de su calentamiento. Su coeficiente de absorción de sonido es muy superior al de los productos refractarios densos o aislantes.

TEMPERATURA LÍMITE DE EMPLEO

La temperatura límite de empleo depende de la aplicación. En caso de duda, le recomendamos que se ponga en contacto con su distribuidor.

PRESENTACIÓN

Espesores (pulg.)	Ancho (cm)	Largo (cm)
1/2"	60	15.2
1"	60	7.6
2"	60	3.8

APLICACIONES

- Revestimiento de hornos industriales.
- Aislamiento de calderas.
- Enfriamiento controlado.
- Calefacción de hornos de vidrio.
- Estanquidad de puertas de hornos.
- Aislamiento de los conductos de gases en tuberías.
- Pantallas térmicas en la industria del automóvil.
- Protección contra incendios.
- Piezas cortadas para la industria del electrodoméstico.
- Aislamiento para el destensionado de soldaduras.
- Filtración a alta temperatura.
- Aislamiento de las turbinas de gas o a vapor.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Características principales

Cerablanket
4780

Temperatura de clasificación °C 1260

Características medidas en ambiente (23 °C/ 50% H.R.)

* Color		blanco
* Densidad	8 Lb/pie ³	
* Resistencia a la tracción (NF-B-40-458)		
64 kg/m ³	kPa	39
69 kg/m ³		78
128 kg/m ³		103
160 kg/m ³		127

Prestaciones a alta temperatura

* Contracción lineal permanente después de 24h (NF-B-40-452) de calentamiento sobre las dos caras a:

1000 °C	%	1.5
1100 °C		2.2
1200 °C		3.0
1300 °C		5.5
1400 °C		-
1500 °C		-

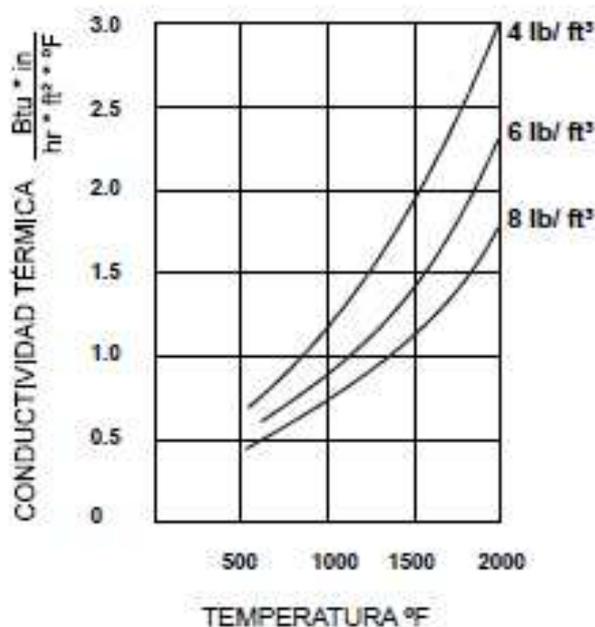
* Conductividad térmica a la temperatura media de:

		64 kg/m ³
200 °C	W/m.k	0.07
400 °C		0.12
600 °C		0.20
800 °C		0.30
1000 °C		0.43

* Calor específico 1090 °C

kJ/kg.K

Composición química		
Al ₂ O ₃	%	46.5
SiO ₂		53.3
Cr ₂ O ₃		-
ZrO ₂		-
Fe ₂ O ₃ + TiO ₂		0.15
CaO + MgO		0.05
Na ₂ O + K ₂ O		0.10



ANEXO D: PLANOS DE FABRICACIÓN

ANEXO E: FOTOS PRUEBAS INICIALES



Colocación del plástico molido



Sistema de Pruebas Iniciales



Compactación del plástico



Plástico obtenido

**ANEXO F: FOTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y
ELEMENTOS USADOS**



Matriz Principal



Doblado de Tol



Matriz Secundaria



Corte de Tol



Cubierta Inferior



Colocación de placas soporte



Molde y Resistencia Inferior



Resistencia Superior



Aislamiento Resistencia Superior



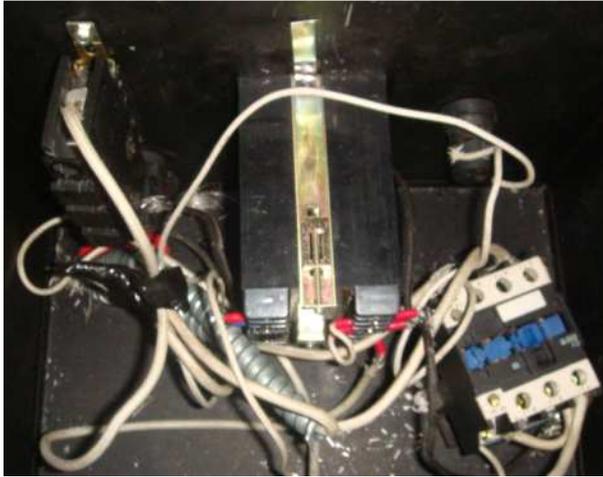
Aislamiento inferior



Matriz Principal y cubierta



Colocación de manómetro



Conexiones eléctricas internas



Caja de control



Conexiones eléctricas externas

**ANEXO G: FOTOS DE FABRICACIÓN DE LAS PLACAS DE
PLASTICO**



Mezcla del plástico con cascarilla



Pesaje



Ingreso de la mezcla



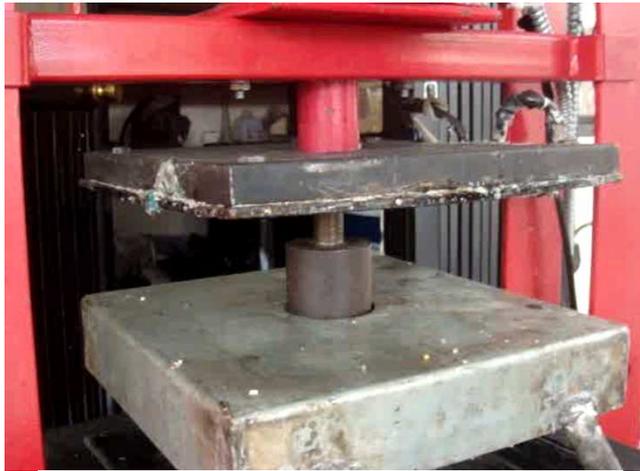
Calentamiento de la mezcla de plástico



Prensado de la mezcla



Descompresión de la mezcla



Extracción de la placa



Mezcla 1: 100% PET



Mezcla 2: 100% HDPE



Mezcla 3: 40% PET, 40% HDPE, 20% Cas



Mezcla 4: 40% PET, 40% HDPE, 20% Ca



Mezcla 5: 50% PET, 40% HDPE, 10% Cas



Mezcla 6: 40% PET, 50% HDPE, 10% Cas



Mezcla 7: 45% PET, 45% HDPE, 10% Cas



Mezcla 8: 45% PET, 45% HDPE, 10% Cas



Mezcla 9: 70% PET, 25% HDPE, 5% Cas



Mezcla 10: 25% PET, 70% HDPE, 5% Cas

ANEXO H: FOTOS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS Y ENSAYOS

FLEXIÓN



Mezcla 1



Mezcla 2



Mezcla 3



Mezcla 4



Mezcla 5



Mezcla 6



Mezcla 7



Mezcla 8



Mezcla 9



Mezcla 10

COMPRESIÓN



Mezcla 1



Mezcla 2



Mezcla 3



Mezcla 4



Mezcla 5



Mezcla 6



Mezcla 7



Mezcla 8



Mezcla 9

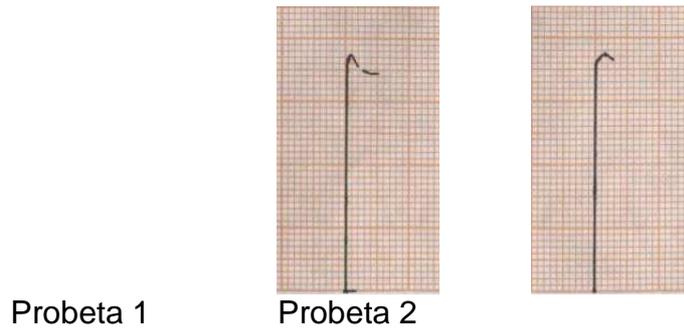


Mezcla 10

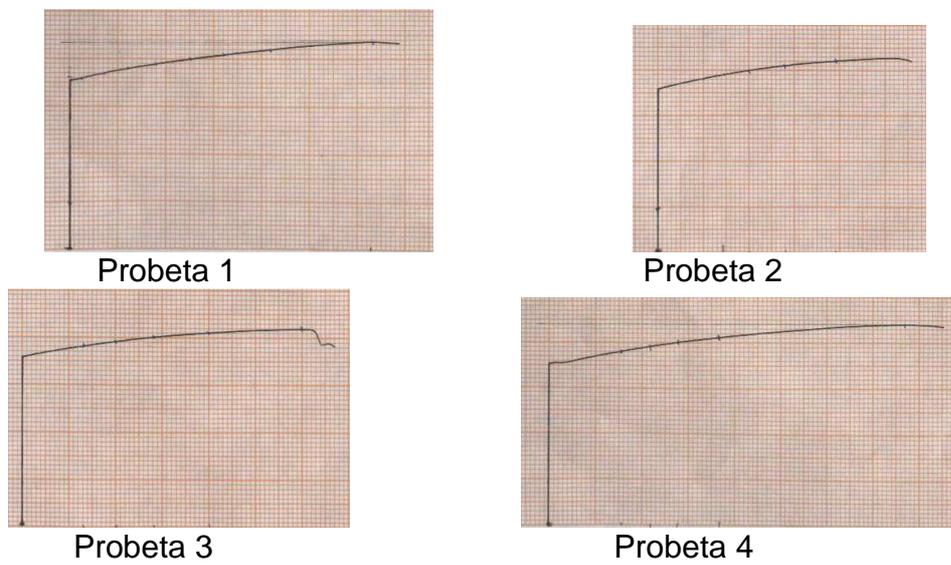
ANEXO I: DIAGRAMAS FUERZA vs. DEFORMACIÓN

DIAGRAMAS ESFUERZO Vs. DEFORMACIÓN ENSAYO FLEXIÓN

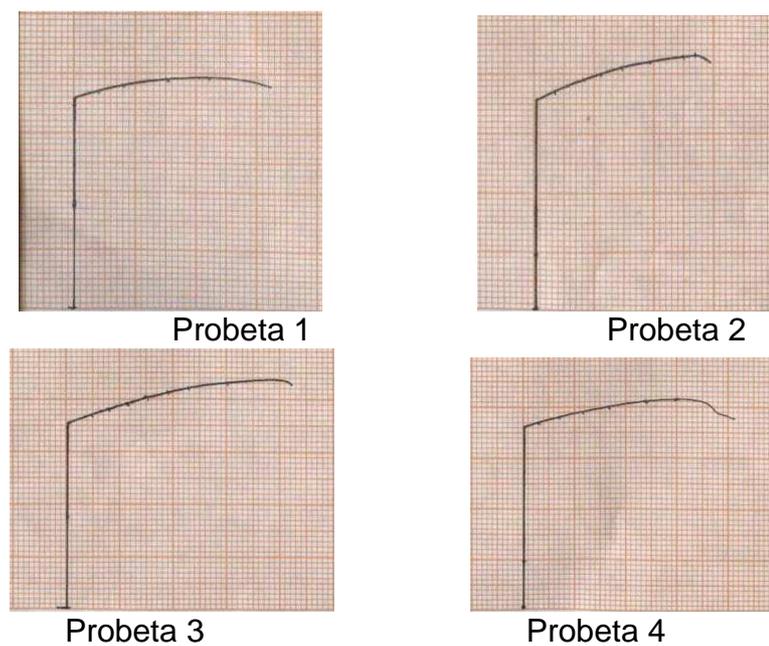
Diagramas Mezcla 1



Diagramas Mezcla 2



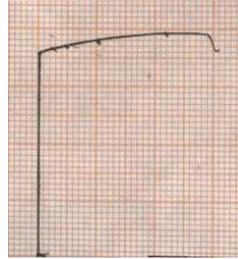
Diagramas Mezcla 3



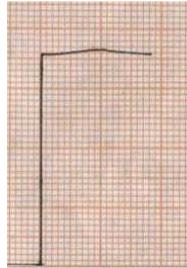
Diagramas Mezcla 4



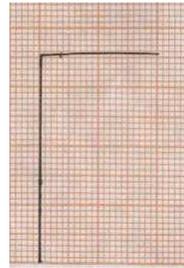
Probeta 1



Probeta 2

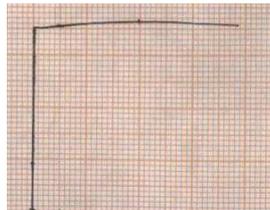


Probeta 3

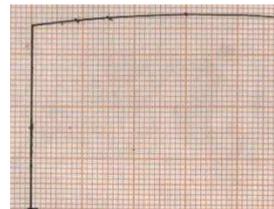


Probeta 4

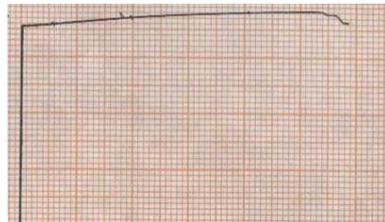
Diagramas Mezcla 5



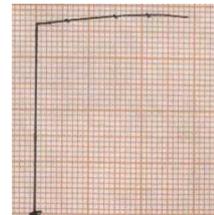
Probeta 1



Probeta 2

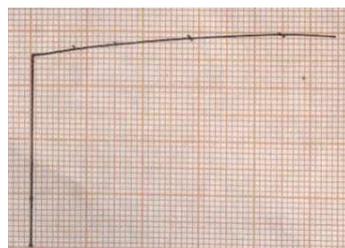


Probeta 3

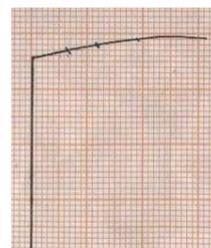


Probeta 4

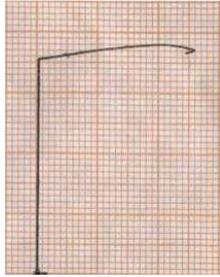
Diagramas Mezcla 6



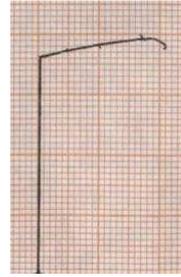
Probeta 1



Probeta 2

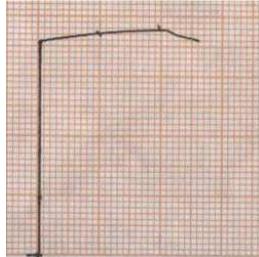


Probeta 3

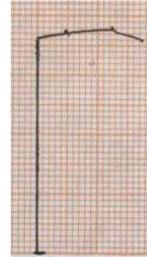


Probeta 4

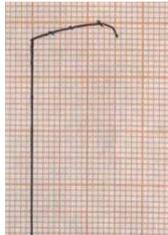
Diagramas Mezcla 7



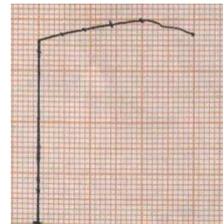
Probeta 1



Probeta 2

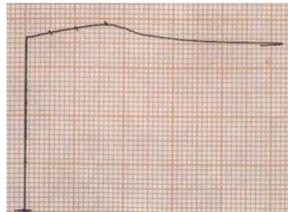


Probeta 3

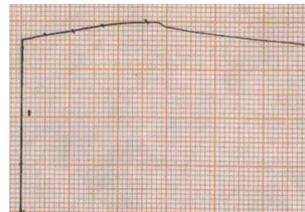


Probeta 4

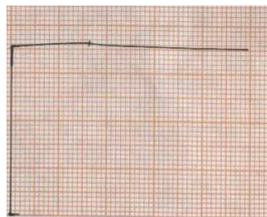
Diagramas Mezcla 8



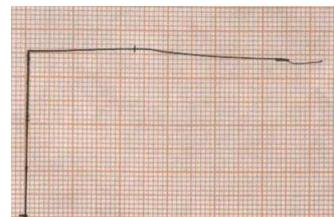
Probeta 1



Probeta 2

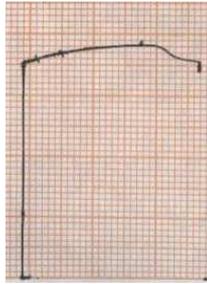


Probeta 3

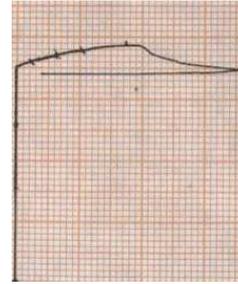


Probeta 4

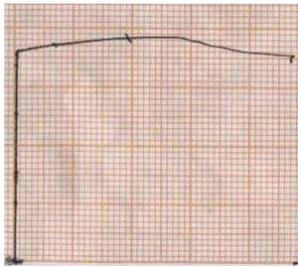
Diagramas Mezcla 9



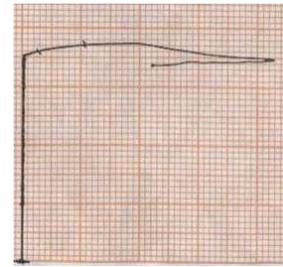
Probeta 1



Probeta 2

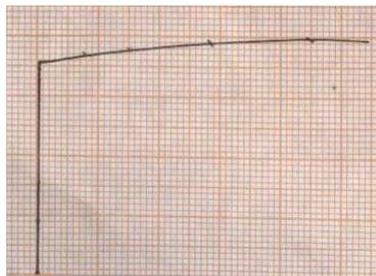


Probeta 3

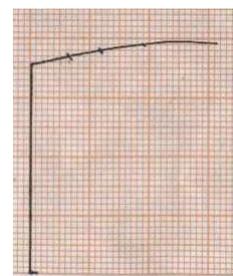


Probeta 4

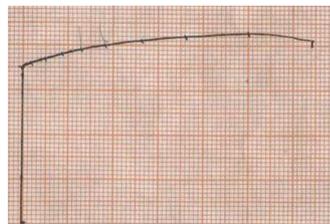
Diagramas Mezcla 10



Probeta 1



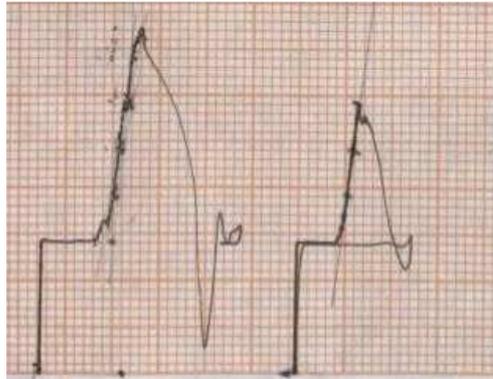
Probeta 2



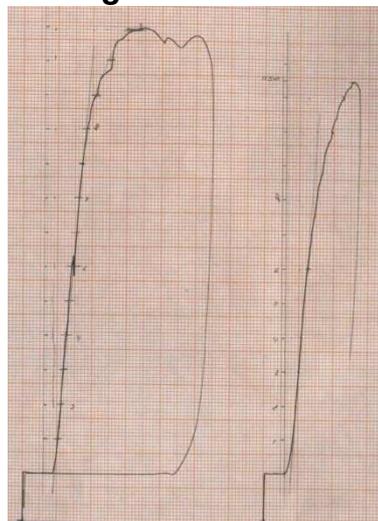
Probeta 3

DIAGRAMAS ESFUERZO Vs. DEFORMACIÓN ENSAYO COMPRESIÓN

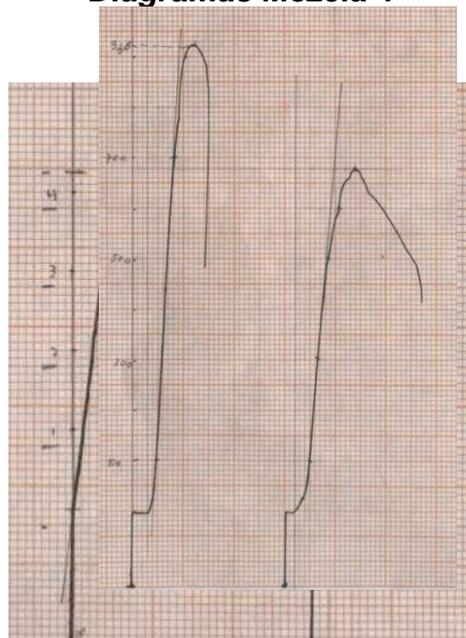
Diagramas Mezcla 1



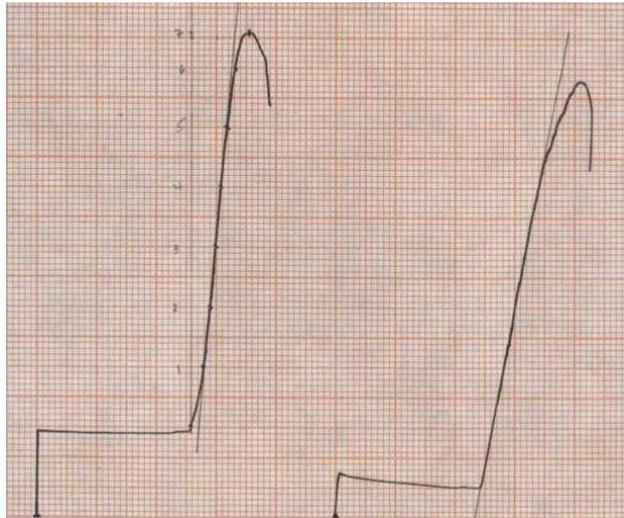
Diagramas Mezcla 2



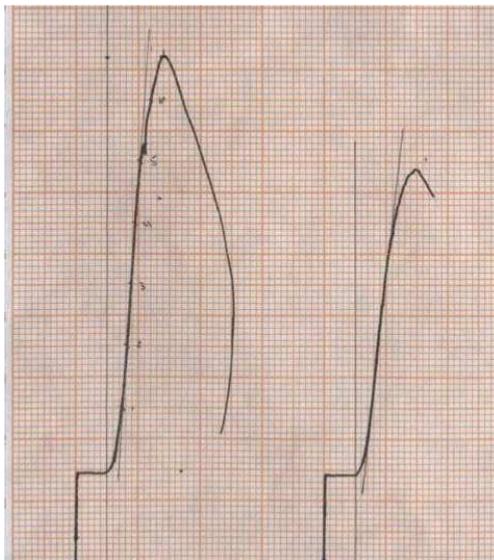
Diagramas Mezcla 4



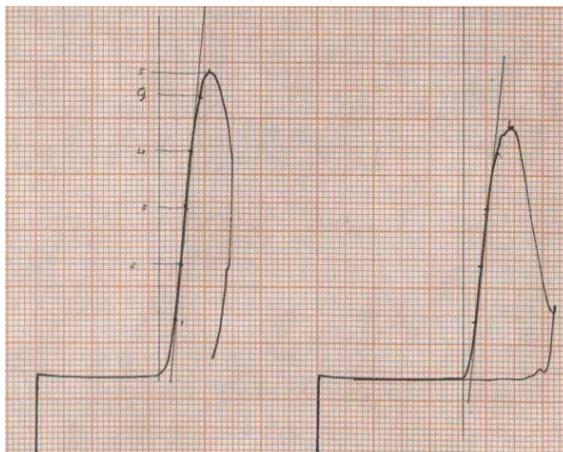
Diagramas Mezcla 5



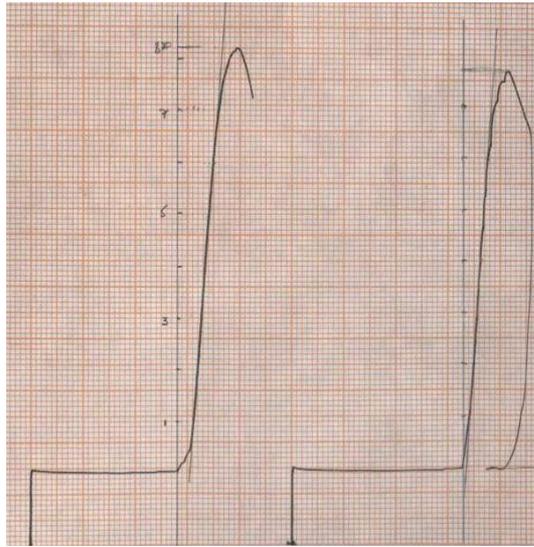
Diagramas Mezcla 6



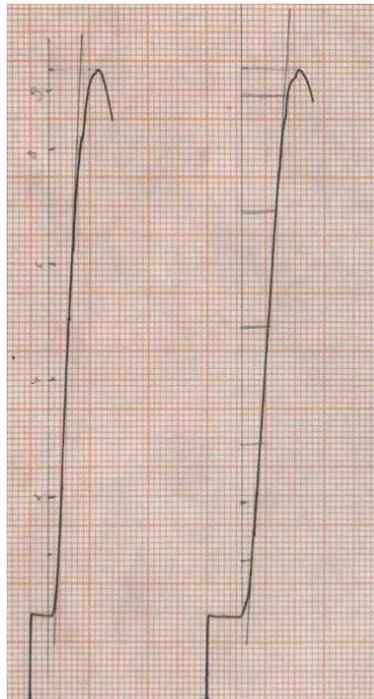
Diagramas Mezcla 7



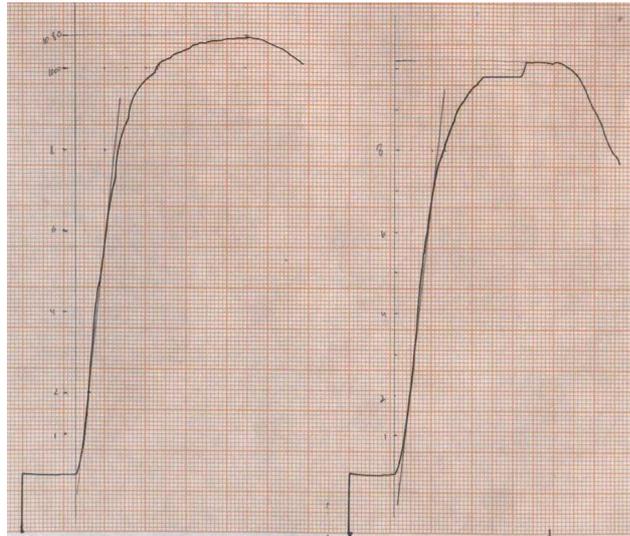
Diagramas Mezcla 8



Diagramas Mezcla 9



Diagramas Mezcla 10



ANEXO J: TABLAS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

FLEXIÓN

Mezcla 100% PET

	Fuerza de Flexión	Deflexión	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	Cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.05	15	11.25	1350.00
2	5	0.1	30	22.50	1350.00
3	13	0.24	78	58.50	1462.50
					1387.50

Mezcla N.2

	Fuerza de Flexión	Deflexión	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	Cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.1	70	52.5	17150.00
2	10	0.34	140	105	10088.24
3	15	0.62	210	157.5	8298.39
4	20	0.8	280	210	8575.00
5	25	1.05	350	262.5	8166.67
6	30	1.3	420	315	7915.38
7	35	1.68	490	367.5	7145.83
8	40	2.1	560	420	6533.33
9	47	2.52	658	493.5	6397.22

Mezcla N. 3

MEZCLA 3					
	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	Cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.14	70	26.88	5017.60
2	10	0.216	140	53.76	6504.30
3	15	0.332	210	80.64	6347.57
4	20	0.448	280	107.52	6272.00
5	25	0.592	350	134.4	5932.97
6	30	0.776	420	161.28	5431.42
7	35	1.08	490	188.16	4553.01
8	45	1.2	630	241.92	

Mezcla N. 4

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.15	35	13.44	2341.55
2	5	0.32	70	26.88	2195.20
3	8	0.52	112	43.01	

Mezcla N. 5

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	2.5	0.27	35	19.72	2169.20
2	5	0.56	70	39.44	2091.73
3	10	0.98	140	78.89	2390.55
4	20	1.15	280	157.78	

Mezcla N. 6

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.25	70	26.88	2809.86
2	10	0.47	140	53.76	2989.21
3	15	0.76	210	80.64	2772.88
4	24	1.05	336	129.02	

Mezcla N. 7

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	5	0.184	70	39.44	6366.13
2	10	0.352	140	78.89	6655.50
3	15	0.56	210	118.33	6275.19
4	20	0.792	280	157.78	5916.00
5	28	1.05	392	220.89	

Mezcla N. 8

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm2	kg/cm2
1	5	0.2	70	52.50	8575.00
2	10	0.424	140	105.00	8089.62
3	15	0.668	210	157.50	7702.10
4	20	1.04	280	210.00	

Mezcla N. 9

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm2	kg/cm2
1	5	0.1	70	19.13	4464.29
2	10	0.26	140	38.27	3434.07
3	15	0.42	210	57.40	3188.78
4	20	0.57	280	76.53	3132.83
5	22	0.68	308	84.18	

Mezcla N. 10

	Fuerza de Flexión	Deformación	Momento Flector	Esfuerzo de Flexión	Módulo
	kg	cm	kg.cm	kg/cm2	kg/cm2
1	5	0.08	70	15.56	4234.57
2	10	0.2	140	31.11	3387.65
3	15	0.37	210	46.67	2746.75
4	20	0.512	280	62.22	2646.60
5	25	0.728	350	77.78	2326.69
6	30	0.92	420	93.33	2209.34
7	35	1.432	490	108.89	1655.98
8	40	2	560	124.44	

COMPRESIÓN

Mezcla 1

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	50	0.09	8.68	0.09	578.70
2	100	0.12	17.36	0.12	868.06
3	150	0.14	26.04	0.14	1116.07
4	200	0.16	34.72	0.16	1302.08
5	234	0.2	40.625		

Mezcla 2

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.048	25	0.048	2604.17
2	200	0.08	50	0.080	3125.00
3	400	0.144	100	0.144	3472.22
4	600	0.216	150	0.216	3472.22
5	800	0.28	200	0.280	3571.43
6	1000	0.36	250		
7	1100	0.48	275		
8	1200	0.64	300		
9	1298	0.92	324.5		

Mezcla 3

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.072	16	0.072	1388.89
2	300	0.116	48	0.116	2586.21
3	500	0.16	80	0.160	3125.00
4	700	0.2	112	0.200	3500.00
5	800	0.232	128		
6	900	0.3	144		
7	935	0.36	149.6		

Mezcla 4

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.048	16	0.048	2083.33
2	200	0.088	32	0.088	2272.73
3	300	0.136	48	0.136	2205.88
4	400	0.224	64	0.224	1785.71
5	458	0.36	73.28		

Mezcla 5

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.05	20.66	0.050	2272.73
2	300	0.14	61.98	0.140	2435.06
3	500	0.24	103.31	0.240	2367.42
4	600	0.29	123.97	0.290	2351.10
5	670	0.38	138.43		

Mezcla 6

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.045	16	0.045	2222.22
2	300	0.145	48	0.145	2068.97
3	500	0.24	80	0.240	2083.33
4	600	0.31	96	0.310	1935.48
5	684	0.41	109.44		

Mezcla 7

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm ²	cm	kg/cm ²
1	100	0.09	20.66	0.090	1262.63
2	200	0.14	41.32	0.140	1623.38
3	300	0.192	61.98	0.192	1775.57
4	400	0.24	82.64	0.240	1893.94
5	500	0.28	103.31		
6	546	0.36	112.81		

Mezcla 8

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm2	cm	kg/cm2
1	100	0.12	25.00	0.120	1041.67
2	200	0.15	50.00	0.150	1666.67
3	300	0.175	75.00	0.175	2142.86
4	400	0.208	100.00	0.208	2403.85
5	500	0.24	125.00	0.240	2604.17
6	600	0.28	150.00	0.280	2678.57
7	700	0.32	175.00		
8	822	0.44	205.50		

Mezcla 9

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm2	cm	kg/cm2
1	100	0.04	12.76	0.040	2232.14
2	200	0.06	25.51	0.060	2976.19
3	400	0.11	51.02	0.110	3246.75
4	600	0.16	76.53	0.160	3348.21
5	800	0.23	102.04	0.230	3105.59
6	948	0.34	120.92	0.340	2489.50

Mezcla 10

	Fuerza	Deformación	Esfuerzo de Compresión	$\Delta \delta$	Módulo
	kg	cm	kg/cm2	cm	kg/cm2
1	100	0.08	11.11	0.080	1041.67
2	200	0.11	22.22	0.110	1515.15
3	400	0.2	44.44	0.200	1666.67
4	600	0.3	66.67	0.300	1666.67
5	800	0.42	88.89	0.420	1587.30
6	1000	0.78	111.11	0.780	1068.38
7	1078	1.68	119.78		

ANEXO K: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

MANTENIMIENTO

- El ejecución del mantenimiento del equipo debe ser realizada en la parte mecánica como eléctrica para lo que se ha desarrollado las siguientes instrucciones por sección:

Parte Eléctrica

Antes de realizar una acción de mantenimiento verificar que el equipo se encuentre apagado y la pared del molde se encuentre a temperatura ambiente para evitar accidentes como quemaduras. En la caja de control se encuentra el mando eléctrico del equipo por lo tanto este debe encontrarse en óptimas condiciones por lo que se recomienda:

- Destapar la Caja de control y verificar que no existan impurezas dentro de ella. En caso de existir suciedad, se realiza la limpieza con ayuda de un compresor de aire o manualmente una vileda, y así mantener los elementos en buen estado. Si la situación amerita desarmar el sistema de la caja de control se debe ser precavido antes de desconectar algún elemento y con ayuda del plano de conexiones eléctricas (Anexo PLANOS), identificar cada elemento y sus respectivas conexiones para desconectar en caso de limpieza y conectar después de realizada.



Cableado Interno

- Verificar el estado de los cables internos de la caja de control para evitar fallos del sistema o corto circuitos. Lo mismo se debe realizar con los cables externos que conectan las resistencias, con el cable de poder de 220V trifásico y con su enchufe.
- Un factor importante para evitar corto circuitos es revisar los aislamientos en las conexiones que se encuentren más cercanas entre sí, como por ejemplo la conexión de las resistencias ya que pueden unirse al mover el molde de una posición a otra, se recomienda usar cinta autofundente.



Conexión eléctrica de la resistencia inferior



Cinta autofundente

- La revisión del funcionamiento del Brake es de suma importancia para proteger a los elementos eléctricos. Primero se debe revisar las conexiones internas siguiendo el plano eléctrico, luego conectar el cable de poder a 220V, colocar en “ON” el Brake y la perilla. Si el Brake se encuentra funcionando correctamente se encenderá la luz piloto, de lo contrario desconectar el Brake y verificar internamente, si existe un desperfecto cambiar inmediatamente antes de usar el equipo.
- Para verificar la conexión en cada una de las borneras se hala las conexiones con cierta fuerza para confirmar el buen estado de la conexión. En caso de encontrar un cable o terminal defectuoso reemplazar el elemento afectado o conectar correctamente.

- La limpieza de la resistencia y sus terminales es imprescindible ya que sin estás el proceso no sería el mismo. Por lo que es necesario desmontar tanto la base como la parte superior del molde para limpiar los calefactores principalmente de impurezas generadas por rebabas en los extremos de las placas. Para limpiar el serpentín se lo realiza con un guaípe con gasolina, siempre con mucho cuidado.



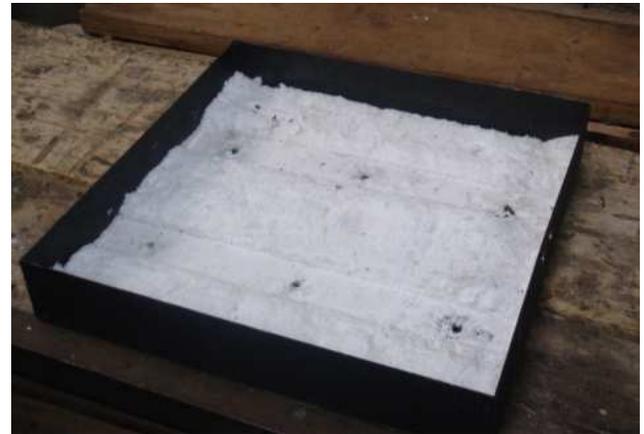
- Los cables siliconados que se encuentran dentro del cable flexible de acero pueden pelarse y causar daños por corto circuito por el filo cortante, para evitar esto se debe colocar silicona negra tal que se solidifique y cree una capa protectora dentro del cable de acero.
- La luz piloto tiene que encenderse cuando se encuentren encendidas las resistencias, es decir cuando el pirómetro esté censando un aumento de temperatura. En caso contrario destapar la caja de control y desconectar el foco, revisar su funcionamiento conectándolo a 110V. Si funciona revisar las conexiones siguiendo el Anexo A, sino cambiar la luz por una nueva.

Parte Mecánica

- Los restos de plástico molido pueden entrar dentro del molde, por lo que se necesita limpiarlo. Se desmonta la placa del molde, quedando la resistencia inferior a la vista, se desconecta la conexión a esta última y se la retira. La lana de vidrio se la retira. Con ayuda de un compresor de aire quitar los restos de plástico molido y desechos por rebabas.
- El aislante térmico (lana de vidrio) tiene un promedio de tiempo de servicio de 4 meses aproximadamente sometiéndolo a temperaturas de 250 C continuamente. Para evitar pérdidas de energía se recomienda cambiarlo en el límite de tiempo establecido.
- En el caso de cambiar el aislante se debe desmontar la cubierta superior de la base, la placa de la base del molde y la cubierta de la resistencia superior empernada para retirar el aislante usado y colocar un nuevo.



Desmontaje del Molde inferior



Cubierta y aislante inferior



Montaje de cubierta y aislante inferior

- Para realizar el mantenimiento de la cubierta superior se debe tener en cuenta que la base esta empernada a la extensión del vástago de la gata hidráulica por lo que se hace más fácil su desmontaje y montaje. Pero antes se tiene que desconectar los cables terminales de corriente de la resistencia y luego continuar con el desmontaje.
- A las placas del molde después de usar el equipo se adhiere plástico fundido que después del enfriamiento se endurece más. Para limpiarlas y retirar las rebabas se necesita una espátula y un martillo. Realizar la limpieza, siempre antes de utilizar el equipo, con esto se evita que la placa superior entre sin ningún problema en la matriz
- En el caso de no poder retirar los restos de plástico sólido se recomienda calentar la placa usando el equipo para que sea más fácil retirar el desecho del proceso. El calentamiento para la limpieza tiene que ser en una temperatura de 190 C durante 20 minutos. Usar espátulas, placas de tol, destornilladores, etc.

- La cubierta de tol inferior del molde, la cubierta de tol superior la caja de control y las placas de soporte del molde son sujetas por pernos, por lo que se tiene que tener en cuenta la sujeción de estos a la estructura en general para que soporten las cargas sin ningún problema y se mantengan estables durante el proceso.
- El aceite de la gata tiene que ser cambiado cada 1000 horas de uso. El usado es un galón de ISO-68 hidráulico. El cambio se lo realiza por el tapón que se encuentra en el manómetro como se ve en la siguiente foto:



- Al momento de desconectar los terminales de las resistencias se debe tener mucho cuidado ya que estos son muy delicados y cualquier forcejeo puede romperlos, dejando sin conexión eléctrica a las resistencias.

BIBLIOGRAFÍA

- **Welty, James R.** Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería. Editorial Limusa S.A, México (1981).
- **Kern, Donald Q.** Procesos de Transferencia de Calor. Editorial Continental, México (1982).
- **Incropera, Frank P. y Dewitt David P.** Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta. Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (1999).
- **Fleck, Ronald H.** Plásticos, su estudio científico y tecnológico
- **Butler, J.** Compression and Transfer Moulding
- **Morton, Jones.** Procesamiento de Plásticos. Editorial Limusa S.A, Mexico (2004).
- **Morris, Joe L.** Procesos Modernos de Fabricación
- **Meysenbug C.M. Von.** Tecnología de Plásticos para Ingenieros
- **Manual de Mecánica Industrial: Neumática e Hidráulica Tomo II,** Edición 2002, Editorial Cultural S.A, pag. 108
- **Plaza, Jaime.** Basura Plástica Amenaza al Planeta. GRUPO EL COMERCIO C.A 11/04/2009
- **Emmanuelle Rélot,** Estudio de Mezclas y Copolímeros de PET/PEN. Universidad Politécnica de Catalunya. Febrero 2005: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3216>

- **Barriga, Jorge L.** Madera Plástica-Pruebas Mecánicas Preliminares, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Perú 20/10/2008.
- **París, Luís y González, Sandra.** Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la Elaboración de madera plástica. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 29/07/2009.
- **Brindis, Eleno A.** Propiedades Básicas de los Polímeros, 2002.
- **Beltrán M. y Marcilla A.** Tecnología de Polímeros: Estructura y Propiedades de los Polímeros: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>
- Catálogos de Propiedades de Polímeros de GOODFELLOW S.A: <http://www.goodfellowusa.com/S/P.html>
- Coordinadora Ecuatoriana de organizaciones para la Defensa de la Naturaleza y el Medio Ambiente: <http://www.cedenma.org/>