

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRUSION-PELETIZADO PARA EL PROCESAMIENTO DE
LOS RESIDUOS PLASTICOS PARA LA EMPRESA MUNICIPAL
DE LA CIUDAD DE CUENCA EMAC”**

AUTOR:

Christian Mauricio Cobos Maldonado

DIRECTOR:

Ing. Jorge I. Fajardo S.

CUENCA – ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN:

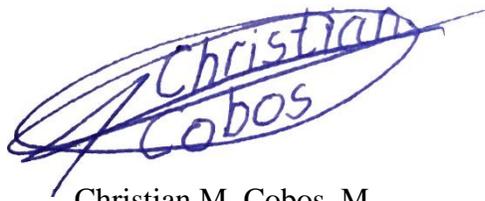
Yo, Ing. Jorge I. Fajardo S. certifico que el presente trabajo fue realizado por el señor Christian M. Cobos M., bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge I. Fajardo S.', with several horizontal lines drawn over it.

Ing. Jorge I. Fajardo S.

DECLARACIÓN:

Yo Christian Mauricio Cobos Maldonado declaro que los análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo aquí descrito son de mi autoría, y que no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional.

A handwritten signature in blue ink, consisting of the name "Christian Cobos" written in a cursive style. The signature is enclosed within a large, loopy oval shape that also forms part of the signature's flourish.

Christian M. Cobos. M.

Cuenca, 15 de Diciembre de 2011

DEDICATORIA:

*A mi familia que siempre
me apoyo en mis estudios.*

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Politécnica Salesiana por la formación profesional y personal brindada.

A mi director de tesis Ing. Jorge Fajardo. Al Ing. Luis Marcelo López, al Ing. Román Idrovo, al Ing. Pablo Idrovo, al departamento Técnico de la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC y a todos los docentes que me brindaron su apoyo para la realización de esta tesis.

INDICE

INDICE	1
INDICE DE ILUSTRACIONES	6
INDICE DE TABLAS.....	8
INDICE DE GRAFICAS.....	9
INDICE DE ESQUEMAS	9
CAPITULO I.....	10
Análisis del volumen del material plástico reciclado en la ciudad de Cuenca y Estudio de sistemas de reciclado de plásticos.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Antecedentes.....	10
Estadísticas de la Ciudad	11
1.2 Análisis volumétrico de plástico desechado en la Ciudad de Cuenca.	13
1.2.1 Visión global.....	13
1.3 Análisis estadístico del volumen de plástico reciclado del cantón Cuenca..	23
1.3.1 Elección del tamaño de la Muestra.....	23
1.4 Reciclado	27
1.4.1 Plásticos para reciclar	28
1.4.2 Fuentes de plásticos	30
1.4.3 Identificación de diferentes tipos de plásticos	30
1.4.4 Etapas para reciclar el plástico:	38
1.4.5 Proceso de reciclaje de los plásticos.....	39
1.4.5.1 Reciclaje químico:.....	40
1.4.5.2 Reciclado energético	47
1.4.5.4 Reciclado Mecánico	49

1.4.5.5 Ponderación de las alternativas de reciclado para ser aplicado en la ciudad de Cuenca.	59
1.5 Conclusiones:.....	61
CAPÍTULO II	62
Diseño de una Extrusora – Peletizadora de polímeros reciclados.....	62
2.1. Introducción.....	62
2.2. Principio de funcionamiento de una Extrusora-Peletizadora.	62
2.2.1 Componentes de una extrusora	65
2.2.1.1 Tolva de alimentación:	66
2.2.1.2 Garganta de Alimentación:	70
2.2.1.3 El Tornillo de extrusión:.....	70
2.2.1.4 Barril o Cilindro:.....	84
2.2.1.5 Motor:.....	85
2.2.1.6 Cabezal de extrusión:	86
2.2.1.7 Plato rompedor y filtro:	86
2.2.1.8 Cabezal y Boquilla:	87
2.2.1.9 Peletizadora.....	89
2.2.2 Principio de Funcionamiento	90
2.3 Dimensionamiento.	92
2.3.1 CÁlculo del número de agujeros de la malla de extrusión.	92
2.3.1.1 Cálculo de la sección del agujero:.....	92
2.3.1.2 Cálculo de la velocidad de producción con un hilo extruido:	92
2.3.1.3 Cálculo del número de hilos de la malla de extrusión:	93
2.3.2 Calculo del tornillo.	93
2.3.2.1 Coeficiente de arrastre α :.....	94
2.3.2.2 Coeficiente de Presión (Flujo inverso) β :	95
2.3.2.3 Coeficiente de flujo de fugas (Despreciable en tornillos nuevos) γ :	95

2.3.2.4 Constante total del Cabezal (K):	95
2.3.3 Desarrollo de los Cálculos:	96
2.3.3.1 Calculo de Diámetro:	98
2.3.3.2 Determinación de L, L1, L2, L3:	98
2.3.3.3 Determinación de h1:	99
2.3.3.4 Determinación de h3:	100
2.3.3.5 Cálculo de la anchura del filete (e) y de la anchura de canal (w):	101
2.3.3.6 Cálculo del constante de forma geométrica.....	101
2.3.4 Cálculos para el proceso de extrusión peletizado.....	102
2.3.4.1 Verificación de diseño calculando el caudal a producir para peletizado.....	102
2.3.4.2 Cálculos de la potencia requerida para peletizado:	104
2.3.4.3 Presiones de la máquina de extrusión para peletizado:	105
2.3.6 Cálculo de la fuerza del husillo:	107
2.3.7 Tabla de resumen:.....	113
2.3.8 Simulación del tornillo	113
2.3.8 Diseño de la chaveta:	120
2.3.9 Calculo del molino	122
2.3.9 Dimensionamiento de la bomba para refrigeración del hilo extruido.	126
2.4 Diseños	128
CAPÍTULO III.....	129
Estudio de alternativas de generación de productos a partir del material plástico reciclado.....	129
3.1 Introducción.....	129
3.2 Alternativas de renovación de productos.	129
3.3 Análisis de Diseños de productos obtenidos a partir de plástico reciclado.	130
3.3.1 Madera Plástica	130

3.3.1.1 <i>Propiedades físicas de los Tableros de Madera Plástica</i>	130
3.3.1.2 <i>Propiedades térmicas de los Tableros de Madera Plástica</i>	130
3.3.1.3 <i>Propiedades mecánicas de los Tableros de Madera Plástica</i>	131
3.3.2 Recipientes para usos industriales, agrícolas, ganaderos y doméstico:	133
3.3.3 Pallets industriales y adoquines.....	134
3.4 Prototipos.....	135
3.4.1 Diseño de los prototipos.	135
3.5 Validación de prototipos.	136
3.5.1 Validación de productos de material reciclado para la empresa municipal EMAC de Cuenca.	136
3.5.1.1 Columpio	136
3.5.1.2. Maceta para centro histórico.....	149
3.6 Eco-diseño.	152
3.6.1 Introducción	152
3.6.2 Evolución del eco-diseño	152
3.6.3 Técnicas de eco-diseño	153
3.5.3.1 Indicadores ambientales	153
3.6.3.2 Matrices de requerimientos.....	154
3.6.2.4 Análisis ambiental del producto.....	154
3.7 Conclusiones.....	157
CAPITULO IV	158
ANALISIS ECONÓMICO	158
4.1 Introducción.....	158
4.2 Diseño de la planta de reciclado:	158
4.3 Determinación de costos	158
4.3.1 Costos de inversión (Inversiones).....	158
4.3.2 Costos de operación.....	160

4.3.2.1 Cantidad de insumos a utilizarse en la producción.....	161
4.3.2.2 Costo unitario de procesamiento en dólares americanos.....	162
4.3.2.3 Costo total del procesamiento por año.....	162
4.4 Inversiones.....	163
4.5 Depreciación.....	163
4.6 Gastos Generales.....	164
4.7 Análisis financiero	165
4.8 Flujo de fondos	167
4.8.1 El valor actual neto (V.A.N.).....	167
4.8.2 La tasa interna de retorno (T.I.R.).....	168
4.8.3 Relación beneficio costo (B/C).....	168
4.8.4 Cálculo del punto de equilibrio	169
4.9 Conclusiones:.....	170
Análisis económico comparativo.....	170
Conclusión general.....	171
RECOMENDACIONES	171
BIBLIOGRAFIA.....	173
ANEXOS	177
ANEXOS A.....	177
ANEXO B.....	181
ANEXO C.....	182
ANEXO D.....	186
ANEXO E.....	187
ANEXO F.....	187
ANEXO G.....	188
ANEXO H.....	189
ANEXO I.....	191

ANEXO J.....	194
ANEXO K.....	195
ANEXO L.....	196
ANEXO M.....	197
ANEXO N.....	205

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 UBICACION GEOGRAFICA DEL CANTON CUENCA	11
ILUSTRACIÓN 2 FOTOGRAFÍAS DEL GALPÓN DE RECOLECCIÓN DE RECICLADO	38
ILUSTRACIÓN 3 CENTRO DE RECICLADO.....	38
ILUSTRACIÓN 4 CLASIFICACIÓN DE MATERIAL RECICLADO.....	39
ILUSTRACIÓN 5 PACADO DE MATERIAL RECICLADO.....	52
ILUSTRACIÓN 6 ESQUEMA Y FORMA DE UN MOLINO CONVENCIONAL PARA PET	53
ILUSTRACIÓN 7 CINTA DE TRANSPORTACIÓN PARA CLASIFICACIÓN Y SEPARACIÓN.....	54
ILUSTRACIÓN 8 TAMBORES CON PALETAS PARA FLOTACIÓN DE POLIOLEFINAS.....	55
ILUSTRACIÓN 9 PLÁSTICO LAVADO	55
ILUSTRACIÓN 10 SECADOR CENTRIFUGADOR.....	56
ILUSTRACIÓN 11 LÍNEA DE LAVADO SECADO CENTRIFUGADO.....	57
ILUSTRACIÓN 12 EXTRUSORES PARA PET	57
ILUSTRACIÓN 13 EQUIPO PARA MONOFILAMENTO	59
ILUSTRACIÓN 14 DISPOSICIÓN POSIBLE DE LOS HUSILLOS EN LAS EXTRUSORAS DE DOBLE HUSILLO; GIRO CONTRARIO Y GIRO EN PARELELO; DIFERENTES GRADOS DE INTERPRETACION DE LOS TORNILLOS.	65
ILUSTRACIÓN 15 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA EXTRUSORA DE HUSILLO SENCILLO.....	65
ILUSTRACIÓN 16 TIPOS DE TOLVAS.....	66
ILUSTRACIÓN 17 FLUJO DE MATERIAL EN UNA TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	67
ILUSTRACIÓN 18 SISTEMA FLOOD-FEED	68
ILUSTRACIÓN 19 SISTEMA STARVE-FEED.....	68
ILUSTRACIÓN 20 SISTEMA CRAMMER	69
ILUSTRACIÓN 21 SISTEMA MELT-FEED.....	69
ILUSTRACIÓN 22 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN.....	70
ILUSTRACIÓN 23 TORNILLO DE UNA EXTRUSORA	71
ILUSTRACIÓN 24 PARTES BÁSICAS DE UN TORNILLO	72
ILUSTRACIÓN 25 CORTE TRANSVERSAL DE LA EXTRUSORA EN LA ZONA DE TRANSICIÓN.	76
ILUSTRACIÓN 26 TIPOS DE TORNILLOS PLASTIFICADORES.....	77

ILUSTRACIÓN 27 SISTEMAS DE DESGASIFICACIÓN.....	79
ILUSTRACIÓN 28 MEZCLADORES DE TIPO AGUJA CON ORIENTACION DE LAS AGUJAS PERIMETRAL Y AXIAL	80
ILUSTRACIÓN 29 MEZCLADOR DE ANILLO.....	81
ILUSTRACIÓN 30 ZONA DE MEZCLADO CON FILETES DESIGUALES TIPO “SAXTON”.....	81
ILUSTRACIÓN 31 SISTEMA CILINDRO DE CALEFACCIÓN – TORNILLO.....	84
ILUSTRACIÓN 32 PLATO ROMPEDOR.....	87
ILUSTRACIÓN 33 CABEZAL	87
ILUSTRACIÓN 34 BOQUILLA ANULAR.....	88
ILUSTRACIÓN 35 PARTE DIFERENCIAL EN UNA BOQUILLA DE EXTRUSIÓN.....	88
ILUSTRACIÓN 36 PELETIZADORA	90
ILUSTRACIÓN 37 SISTEMA PELETIZADOR.....	90
ILUSTRACIÓN 38 SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN POR GRAVEDAD DEL TORNILLO.....	114
ILUSTRACIÓN 39 SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN CON CARGAS DE EXTRUSIÓN.....	115
ILUSTRACIÓN 40 REPRESENTACION DEL MUNION.....	117
ILUSTRACIÓN 41 REPRESENTACION DE LA CHAVETA	121
ILUSTRACIÓN 42 REPRESENTACION DE MOLINO	122
ILUSTRACIÓN 43 REPRESENTACION DE TRABAJO DEL MOLINO PELITIZADOR	123
ILUSTRACIÓN 44 REPRESENTACION DEL RADIO DE TRABAJO DEL MOLINO PELITIZADOR	124
ILUSTRACIÓN 45 TINA DE ENFRIAMIENTO	126
ILUSTRACIÓN 46 PLANCHA DE MADERA PLASTICA REICLADA (EXTRUIDA).....	132
ILUSTRACIÓN 47 MOVILIARIO PARA ESTAR EN LA INTERPERIE	132
ILUSTRACIÓN 48 VALLAS DE MADERA PLASTICA	132
ILUSTRACIÓN 49 MACETERO DE MADERA PLASTICA	132
ILUSTRACIÓN 50 PARQUES LINEALES.....	133
ILUSTRACIÓN 51 OTRAS APLICACIONES DE MADERA PLASTICA	133
ILUSTRACIÓN 52 TANQUES PARA EL USO AGRICOLA, GANADERO TACHOS DE BASURA Y MACETAS	134
ILUSTRACIÓN 53 CESTAS Y BOLSOS DE PET	134
ILUSTRACIÓN 54 PALLET Y ADOQUIN DE PLASTICO REICLADO	134
ILUSTRACIÓN 55 COLUMPIO HECHO CON MADERA PLÁSTICA.....	136
ILUSTRACIÓN 56 DISEÑO DE VIGAS DE MADERA PLASTICA.....	137
ILUSTRACIÓN 57 ANALISIS DE DEFLEXION DE VIGA DE MADERA PLASTICA	146
ILUSTRACIÓN 58 MACETA DE MADERA PLÁSTICA	149
ILUSTRACIÓN 59ANALISIS VISULA DE CARGAS MACETA.....	151
ILUSTRACIÓN 60 ETAPAS DEL ECODISEÑO	153

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 DATOS ESTADISTICOS DE LA CIUDAD DE CUANCA.....	11
TABLA 2 ESTADO DE LOS PLASTICOS EN LA EMPRESA RECOLECTORA DE LOJA	17
TABLA 3 COMPOSICIÓN FÍSICA PONDERADA	18
TABLA 4 REPORTE DE DESECHOS RECICLADOS	20
TABLA 5 PROMEDIO DE MUESTREO DE PLASTICO RECICLADO (FUNDAS CELESTES, SELECTIVA)	24
TABLA 6 PESO EN (T) DE LOS DIFERENTES PLÁSTICOS DEL 2010(FUNDA CELESTE)	25
TABLA 7 CAUDAL SEMANAL DE PLASTICO RECICLADO EN TONELADAS	26
TABLA 8 CODIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LOS DIFERENTES PLÁSTICOS	29
TABLA 9 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE DENSIDAD. (FLOTACIÓN).....	30
TABLA 10 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE COMBUSTIÓN.....	31
TABLA 11 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE FLEXIÓN	33
TABLA 12 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICO - PRUEBA DE DISOLUCIÓN.....	34
TABLA 13 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE DUREZA	35
TABLA 14 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE RAYADO DE UÑA.	37
TABLA 15 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLADO QUIMICO	46
TABLA 16 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLAJE ENERGETICO.....	49
TABLA 17 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLADO MECANICO.....	51
TABLA 18 CRITERIOS DE PONDERACIÓN.....	60
TABLA 19 RELACIONES DE COMPRESIÓN RECOMENDADAS DEPENDIENDO EL TIPO DE RESINA A PROCESAR	100
TABLA 20 PARAMETROS GEOMETRICOS DE LOS HUSILLOS, EN MM.....	103
TABLA 21 MAQUINAS DE EXTRUSION.....	104
TABLA 22 RESUMEN DE RESULTADOS.....	114
TABLA 23 RESUMEN DE RESULTADOS (CARGAS DE EXTRUCCION)	116
TABLA 24 RESUMEN DE RESULTADOS (ANALISIS DE COLUMBIO).....	147
TABLA 25 RESUMEN DE RESULTADOS MACETA	151
TABLA 26 INDICADORES AMBIENTALES	153
TABLA 27 MATRIZ DE REQUERIMIENTOS	154
TABLA 28 MATRIZ EPLC.....	156
TABLA 29 RESUMEN COSTO TOTAL PROCESAMIENTO POR AÑO	163
TABLA 30 RESUMEN TOTAL DE INVERSION	163
TABLA 31 RESUMEN TOTAL GASTOS GENERALES	165

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1 INDICE DEMOGRAFICO EN LA CIUDAD DE CUENCA	12
GRAFICA 2 DESTINO DE LOS ENVASES PLASTICOS	14
GRAFICA 3 DISTRIBUCION DEL PETROLEO (DERIVADOS)	16
GRAFICA 4 RESIDUOS SOLIDOS DISPUESTOS-AÑO 2009	18
GRAFICA 5 CAUDAL SEMANAL PORCENTUAL	26

INDICE DE ESQUEMAS

ESQUEMA 1 PUEBA DE DENSIDAD	31
ESQUEMA 2 PRUEBA DE IGNICION	32
ESQUEMA 3 PRUEBA DE DISOLUCION	34
ESQUEMA 4 PRUEBA DE DUREZA	36
ESQUEMA 5 PRUEBA DE RAYADO DE UÑA	37
ESQUEMA 6 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS	39
ESQUEMA 7 PROCESO DE PIROLISIS O CRACKING	41
ESQUEMA 8 PROCESO DE HIDROGENACIÓN	42
ESQUEMA 9 PROCESOS DE GASIFICACIÓN APLICACIONES A LOS RESIDUOS PLASTICOS	42
ESQUEMA 10 ESQUEMA DE PROCESO DE QUIMIOLISIS	43
ESQUEMA 11 PROCESO DE SEPARACIÓN DE PLÁSTICOS CON DISOLVENTES	44
ESQUEMA 12 PROCESO DE METANOLISIS	44
ESQUEMA 13 PROCESO DE NETANOLISIS	45
ESQUEMA 14 PROCESO DE RECICLADO ENRGETICO	48
ESQUEMA 15 PROCESO DE RECICLADO MECANICO MANUAL	50
ESQUEMA 16 PROCESO DE RECICLADO MECANICO AUTOMÁTICO	51
ESQUEMA 17 PROCESOS DE EXTRUSIÓN	63
ESQUEMA 18 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA EXTRUSORA	91
ESQUEMA 19 DIAGRAMA DE SISTEMA EXTRUSIÓN-PELETIZADO	91

CAPITULO I

ANÁLISIS DEL VOLUMEN DEL MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CUENCA Y ESTUDIO DE SISTEMAS DE RECICLADO DE PLÁSTICOS.

1.1 Introducción.

La ciudad de Cuenca no dispone de datos cuantitativos de los diferentes residuos generados por la población. Sin embargo, esta información es primordial para poder diseñar un adecuado sistema de tratamiento de los mismos.

En el presente capítulo se realiza este análisis, partiendo de los residuos solidos urbanos que llegan al relleno sanitario Pichicay del EMAC, partiendo de un método estadístico, con el fin de obtener un porcentaje de los diferentes tipos de plásticos, y presentar una propuesta adecuada para el reciclado del mismo de manera que se pueda aprovechar al máximo todos los residuos con el fin de ser procesados hacia otros nuevos e innovadores productos.

1.2 Antecedentes

La población consume una gran variedad de productos plásticos, generando con ello materiales no aprovechables. Hace algunos años la generación de residuos sólidos como los plásticos, no representaba una preocupación, pues el consumo de estos materiales no era un volumen alarmante. Al incrementarse el número de habitantes, los residuos aumentaron también, generando con ello un problema de salud. Posteriormente se implementaron lugares para depositar los residuos, o se incineraban a cielo abierto. Actualmente, los gobiernos locales disponen de los medios para asegurar la salud y bienestar de sus habitantes e impulsar sistemas para el reciclado de los diferentes residuos que pudiesen ser reutilizados en otras aplicaciones.

Cuenca, es uno de los 15 cantones de la Provincia del Azuay, se encuentra ubicado en la región Centro Sur de la República del Ecuador, está situada a 450 km al sur de Quito, capital de la República del Ecuador y a 243 km de la ciudad de Guayaquil, principal puerto ecuatoriano, su altura promedio es de 2.560 metros sobre el nivel del mar

y su población es de 417.632 habitantes, de los cuales 331.028 se localizan en el área urbana y 86.604 personas viven en el sector rural.



Ilustración 1 UBICACION GEOGRAFICA DEL CANTON CUENCA¹

Cuenca es la tercera ciudad más poblada del Ecuador, junto con Guayaquil y Quito, con 417.632² habitantes aproximadamente en la zona urbana, que es el 75% de la población total. Eso se debe, en parte, al incremento de las fuentes de trabajo disponibles y a la construcción de viviendas.

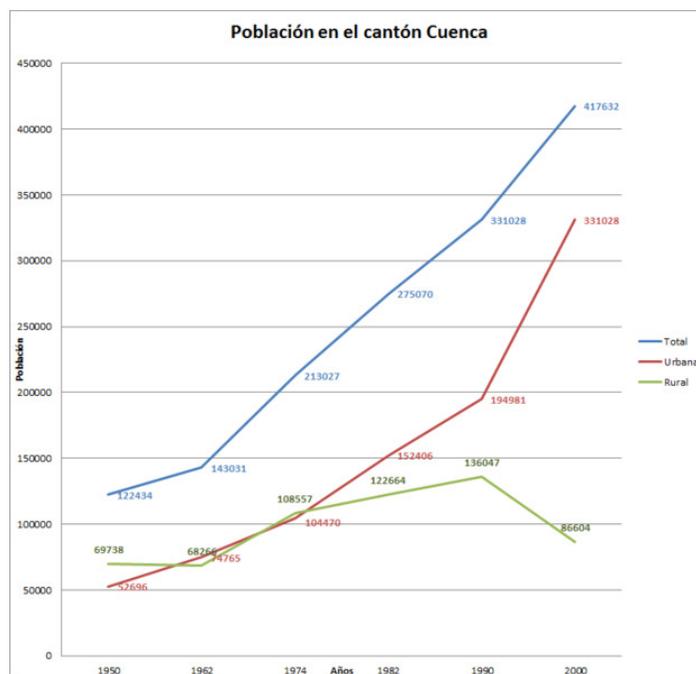
ESTADÍSTICAS DE LA CIUDAD

Tabla 1 DATOS ESTADISTICOS DE LA CIUDAD DE CUANCA

Población Urbana y Rural del Cantón Cuenca, por año censal						
	1950	1962	1974	1982	1990	2000
Total Cantón Cuenca	122.434	143.031	213.027	275.070	331.028	417.632
Urbano	52.696	74.765	104.470	152.406	194.981	331.038
Rural	69.738	68.266	108.557	122.664	136.047	86.604

¹FUENTE: http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_socioeconomica, (Breve descripción socioeconómica de la ciudad).

²FUENTE: http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_socioeconomica. **Dato tomado de Ecuador en cifras 10/04/10**



Grafica 1 INDICE DEMOGRAFICO EN LA CIUDAD DE CUENCA³

En la ciudad de Cuenca ha tenido un rápido crecimiento, haciendo que los residuos sólidos sean un volumen alto debido al incremento de la población y el cambio de estilo de vida.

El desarrollo tecnológico y la generación de nuevos productos, han creado al mismo tiempo nuevos residuos sólidos plásticos.

Este tipo de residuos son generalmente materiales que se depositan en la basura para posteriormente ser transportados al relleno sanitario.

Allí algunos materiales se descomponen más rápidamente que otros, generando emisiones de gases que son dañinas para el medio ambiente y la población.

La situación antes mencionada, ha generado un gran desafío a las instituciones encargadas de gestionarlos para su reutilización.

El plantear sistemas eficientes para la reutilización de plásticos, es una de las mayores preocupaciones de las instituciones encargadas del aseo de la ciudad.

³ FUENTE: http://es.wikipedia.org/wiki/cuenca_%28Ecuador%29, (demografía).

Hemos de considerar que para el proyecto de recolección de polímeros será también necesaria la colaboración de la EMAC, para lo cual nos basamos en los artículos de la Ordenanza Municipal en la que menciona:

*“Fomentar todas las acciones encaminadas a la reducción, reutilización y reciclaje de desechos sólidos”.*⁴

*“La EMAC mediante Reglamento normara las características técnicas tale como peso específico, humedad, composición y otras que permita determinar con más precisión la clasificación de los residuos, así como las condiciones que deben reunir para su almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final”.*⁵

*La EMAC autorizará, coordinará, apoyará y supervisará las iniciativas de carácter privado o público, que se emprendan con miras a reciclar o transformar los residuos y desechos sólidos.*⁶

El proyecto de un sistema de reciclado de residuos plásticos, necesita de información de datos reales sobre el volumen de los desechos, para iniciar con el planteamiento del sistema de reciclado de plásticos.

En la ciudad de Cuenca el sistema de recolección de los residuos es sencillo. Los residuos se colocan en las aceras, en bolsas plásticas de polietileno y posteriormente pasa el camión recolector, transportándolos para disposición final.

Los recolectores realizan la separación de fracciones para su venta posterior (ejemplo: cartón, metal, plásticos, etc.).

1.2 Análisis volumétrico de plástico desechado en la Ciudad de Cuenca.

1.2.1 Visión global.

El plástico representa un 11%⁷ del total de la basura en el mundo. El consumo de plástico esta por los 65 kg/habitante/ año.

⁴ FUENTE: EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA, *Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos solidad en el Cantón Cuenca*, Cuenca 2003, Capitulo 1 Artículo2 Literal E.

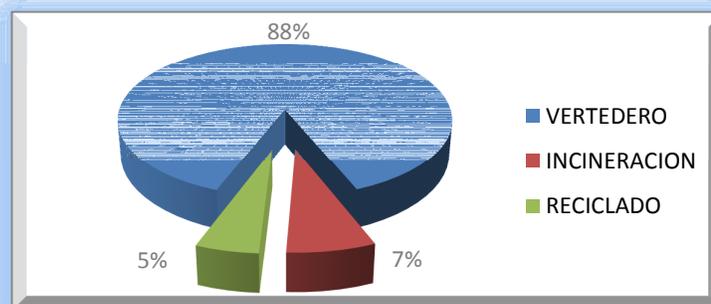
⁵ FUENTE: EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA, *Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos solidad en el Cantón Cuenca*, Cuenca 2003, Capitulo 5 Artículo7.

⁶ FUENTE: EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA, *Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos solidad en el Cantón Cuenca*, Cuenca 2003, Capitulo 7 Artículo16.

⁷FUENTE: s/a, “Reciclaje de Plásticos”, Amigos de la Tierra, <http://www.scribd.com/doc/23325020/Reciclaje-del-plastico>, (Fecha de consulta: Octubre 2010)

“El destino principal de los envases de plástico suele ser el vertedero 88%. La incineración que es un método que en nuestra ciudad no se aplica, en otros lugares es el 5%. Y el reciclado el 7%. Solo el 2% de los envases de plástico consumidos en el hogar se recicla.”⁷

DESTINO DE LOS ENVASES DE PLASTICO	
VERTEDERO	88%
INCINERACION	7%
RECICLADO	5%



Grafica 2 DESTINO DE LOS ENVASES PLASTICOS⁸

El incremento del consumo de plásticos actualmente se estima que es de un 4%⁹ anual. Debido al desarrollo tecnológico de estos materiales, su consumo se ha extendido al campo de los envases, fabricación de componentes en las industrias de automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo. El consumo mundial de materiales plásticos ha ascendido de las 10 mil de toneladas métricas en 1978 hasta los 60 miles de toneladas métricas en el año 2000.

Sin embargo con el éxito en el desarrollo tecnológico del plástico en sus diversas aplicaciones, no se ha desarrollado también el reciclado de los mismos.

⁸ FUENTE: Autor.

⁹FUENTE: ARANDEZ, José, BILBAO Javier, LOPEZ Danilo, “Reciclado de residuos Plásticos”, *Revista Iberoamericana de Polimeros*”, Volumen 5, Marzo, 2004, Pág. 28, <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>

Se estima que se recicla menos del 15% de los materiales plásticos residuales. Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE), polipropileno (PP) y polietilentereftalato (PET) por el alto consumo de botellas y fundas, y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), etc.

El depósito de los plásticos en los vertederos están siendo eliminados, pues en lugar de ser una solución es un grave problema por su reducida degradabilidad, tanto desde el punto de vista de deterioro del paisaje, como porque su descomposición en vertederos origina una fuerte producción de metano.

1.2.2 VISIÓN NACIONAL.

Una reflexión sobre el aprovechamiento de los plásticos nos transporta a las siguientes conclusiones: Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo, que es materia prima agotable, lo transforma en un material de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante. El porcentaje de recuperación del plástico utilizado en diferentes sectores industriales es muy bajo.

La explicación de esta situación se debe a varios motivos:

- El envase plástico no es retornable como las botellas de vidrio.
- Su baja densidad, eleva el valor de transporte, haciendo imprescindible su rotura para el transporte a los centros de reciclaje.
- La diversidad de materiales plásticos, de diferente composición, exige una separación en familias antes de ser reciclado, complicando su clasificación.

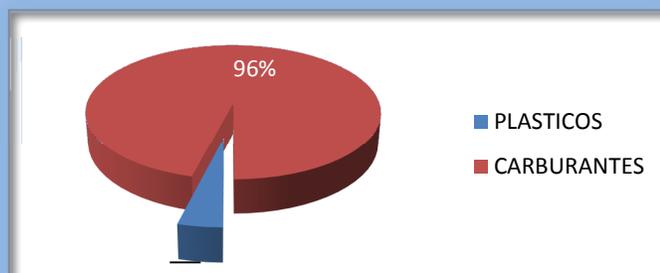
El reciclado de los materiales plásticos está limitado por los elevados requerimientos de calidad de los productos. El plástico reciclado obtenido de los envases alimentarios y embalajes, que es de buena calidad, no se puede volver a emplear en la fabricación de nuevos envases para alimentos por razones sanitarias, y debe usarse para otro tipo de aplicaciones. Otro plástico muy común en la basura doméstica es el film, el mismo que es muy difícil de reciclarlo.

Las dificultades de reutilización de estos residuos, acrecientan el interés por su recuperación, debido a su creciente uso, elevado precio. Estos aspectos son más

pronunciados precisamente en los plásticos no reutilizables (como los envases y envoltorios alimentarios).

Para la fabricación de productos plásticos se parte del crudo de petróleo, del cual un 4% se utiliza para procesar plástico y el 96% carburantes. Examinando ambos mercados en competencia, el aumento de la producción de plásticos implica producir menos combustibles. Por ejemplo, el polietileno, plástico de uso doméstico común, se necesita destilar 18,7 toneladas métricas de petróleo bruto para obtener 3,74 toneladas métricas de nafta, de las que finalmente se producirá una tonelada del polímero.

<i>DIVISION DEL PETROLEO</i>	
<i>POLIMEROS</i>	<i>4%</i>
<i>CARBURANTES</i>	<i>96%</i>



Grafica 3 DISTRIBUCION DEL PETROLEO (DERIVADOS)¹⁰

Desde este punto de vista, el reciclado de plástico, toma mucha importancia frente a otros materiales y ayuda justificar su reutilización.

Otro de los factores para que se concientice sobre el reciclado de plásticos, es el impacto medioambiental que estos producen, ya que los plásticos necesitan mucho tiempo para su descomposición. A nivel de nuestro país, las empresas municipales no tienen una visión de reciclado del material para la generación de nuevos productos, sino lo que realizan es recolectar, compactar y vender a industrias, las cuales lo ocupan para

¹⁰ FUENTE: ARANDEZ, José, BILBAO, Javier, LOPEZ, Danilo, "Reciclado de residuos Plásticos", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Volumen 5, Marzo 2004, Pag. 30, <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>.

vender al extranjero o para la fabricación de productos en los cuales no ameriten plástico virgen. Por ejemplo en la ciudad de Loja la “Jefatura de Higiene y Abasto” que pertenece al municipio, es la encargada del barrido, recolección, transporte y disposición final de los materiales que se reciclan en la ciudad. Según datos facilitados por el Ing. Yohnel Ramírez Armijos Jefe de la Unidad Técnica Jefatura Higiene de la Ilustre Municipalidad de Loja, los plásticos que regularmente se reciclan en dicha ciudad son PET, PEAD y el PEBD.

A continuación se especifica los volúmenes, el estado y el precio en el que son comercializados los plásticos por la empresa de Loja.

Tabla 2 ESTADO DE LOS PLASTICOS EN LA EMPRESA RECOLECTORA DE LOJA¹¹

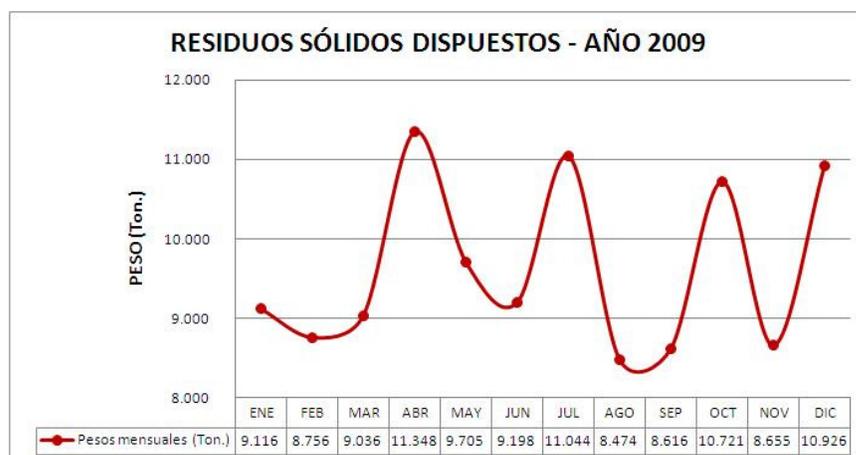
<i>Material</i>	<i>Estado</i>	<i>Precio (centavos por kg)</i>
PET	Compactado	20 + IVA
PEAD	Compactado	10 + IVA
PEBD	Lavado y molido	35 + IVA

Tomando en cuenta los inconvenientes que causan los plásticos que se desechan al medio ambiente y su valor de comercialización, es indispensable el reprocesamiento de dichos materiales.

1.2.3 VISIÓN LOCAL.

Por los motivos antes mencionados, con la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC, se está llevando a cabo el desarrollo de un proyecto de reciclado de materiales plásticos generados por la urbe, facilitando los datos tabulados de la cantidad de material desechado durante el año 2009. Los datos facilitados por la empresa EMAC fueron de parte del Ing. Fernando Muñoz son los siguientes:

¹¹ FUENTE: “Jefatura de Higiene y Abasto” ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LOJA



Grafica 4 RESIDUOS SOLIDOS DISPUESTOS-AÑO 2009¹²

Composición física de los residuos sólidos:

Tabla 3 COMPOSICIÓN FÍSICA PONDERADA¹³

<i>COMPONENTES</i>	<i>COMPOSICIÓN FÍSICA PONDERADA (% en peso)</i>
Materia Orgánica	54.49
Papel y cartón	8.88
Metales	1.59
Plásticos Blandos	6.67
Plásticos rígidos	4.67
Caucho	0.47
Materia Inerte	0.08
Vidrio	3.10
Madera	0.50
Textiles	2.79
Papel higiénico, pañales toallas	14.46
Tetra pack	0.60
otros	1.17
	100.00

Residuos sólidos de reciclaje dispuestos en el relleno sanitario de Pichicay

¹² FUENTE: EMAC, Departamento Técnico.

¹³ FUENTE: EMAC, Departamento Técnico.

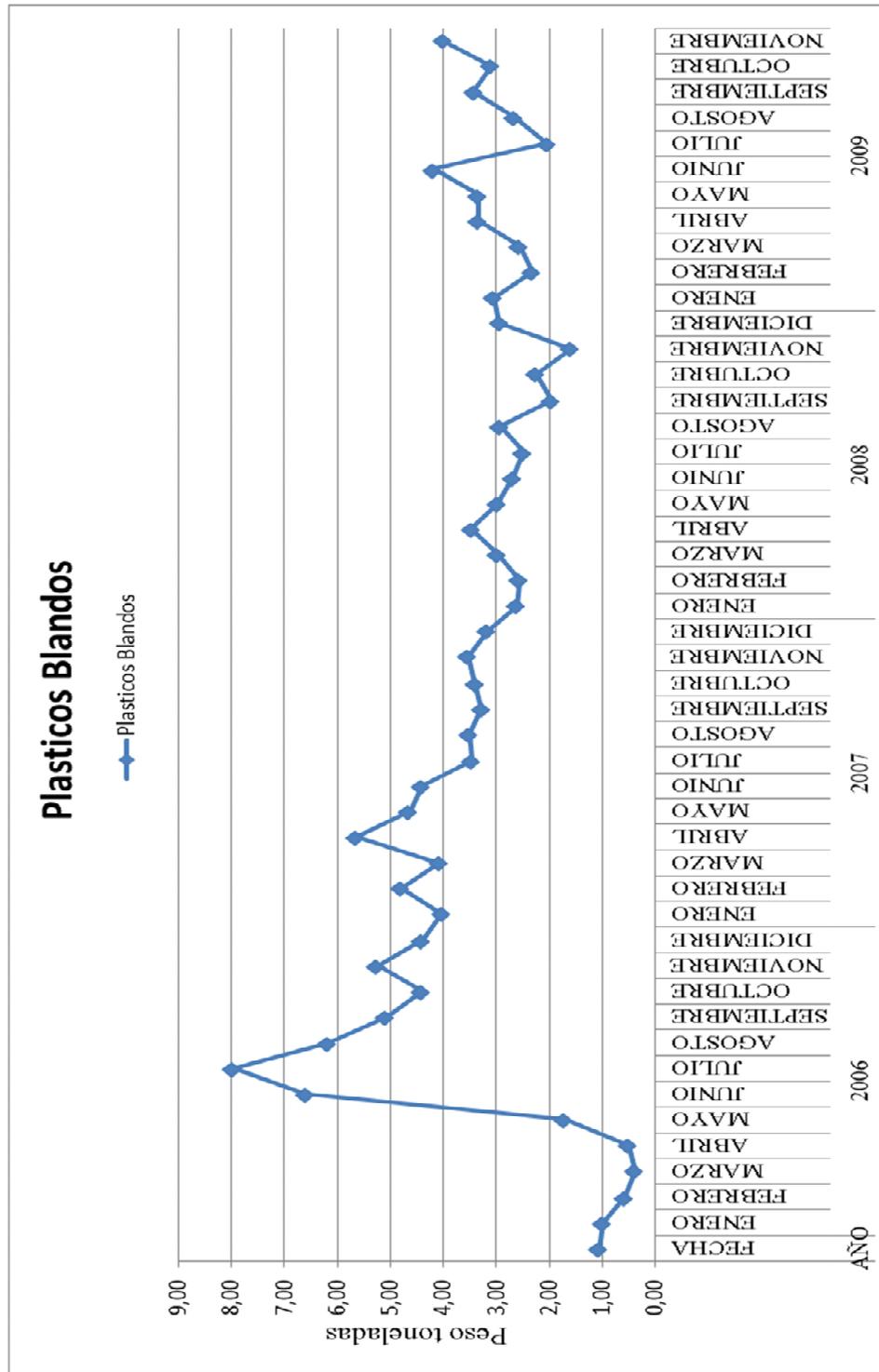
Los datos que se encuentran en las siguientes tablas, corresponden al control de pesaje báscula, previo al ingreso y depósito de los desechos sólidos en el relleno sanitario en Pichicay. Estos datos hacen referencia a todos los desechos de la ciudadanía, tanto desechos orgánicos como inorgánicos.

Con los datos proporcionados por la empresa municipal EMAC tanto de la composición física de residuos sólidos, y el reporte de desechos de reciclaje se procedió a realizar un desglose anual para determinar la cantidad de plástico blando y plástico rígido destinado al relleno sanitario mensualmente.

Tabla 4 REPORTE DE DESECHOS RECICLADOS¹⁴

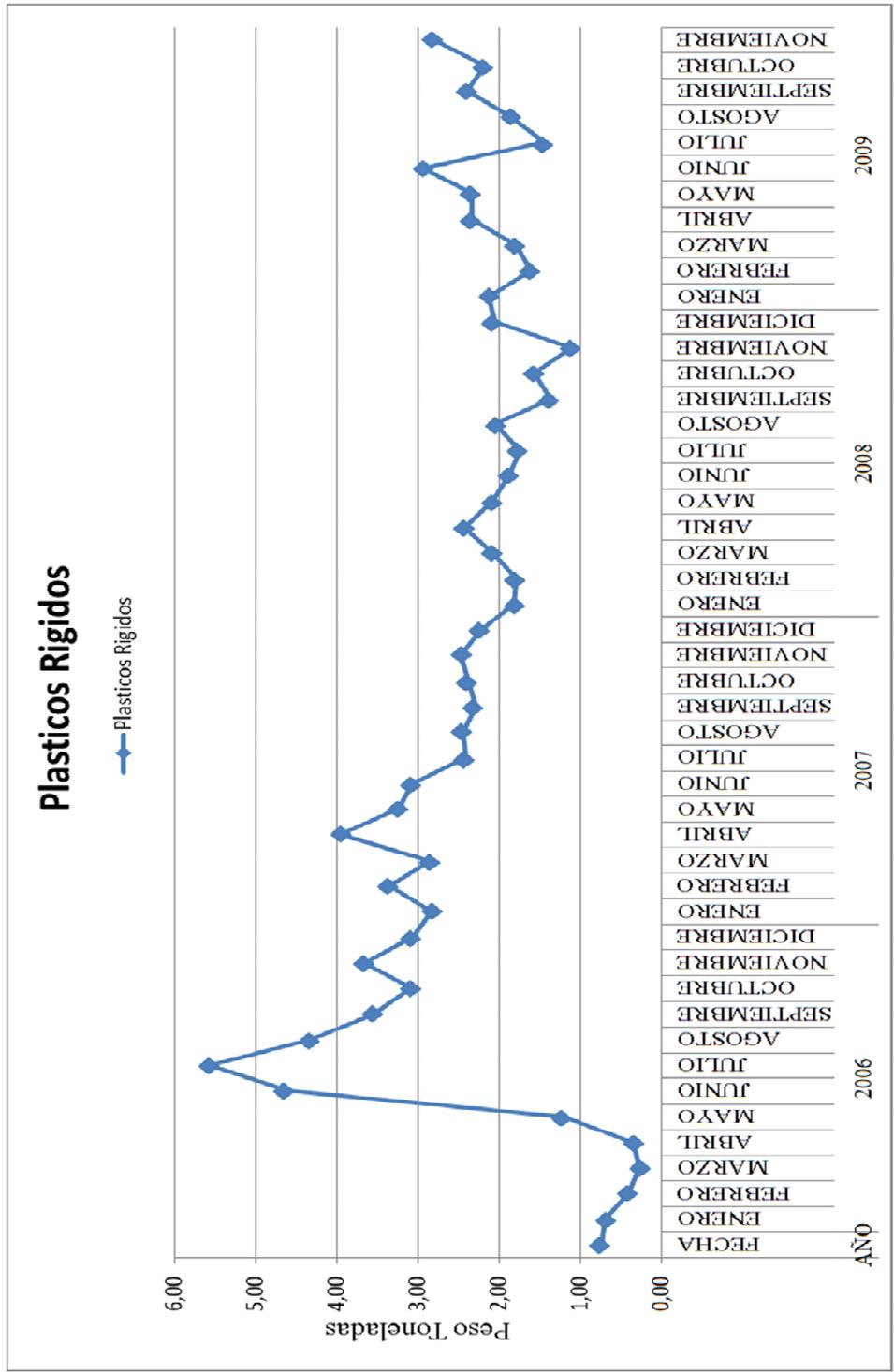
<p style="text-align: center;">REPORTE DE DESECHOS DE RECICLAJE CONTROL DE PESAJE DE BÁSCULA DEL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY</p>														
2006			2007			2008			2009			2010		
FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	FECHA	PESO D.S. RECOLECTADOS (Ton.)	
Enero	4,12	Enero	17,03	Enero	12,33	Enero	11,41	Enero	11,41	Enero	31,06	Enero	63,11	
Febrero	3,84	Febrero	15,68	Febrero	10,10	Febrero	11,79	Febrero	11,79	Febrero	63,11	Febrero	63,11	
Marzo	2,27	Marzo	18,60	Marzo	9,93	Marzo	8,99	Marzo	8,99	Marzo	95,15	Marzo	95,15	
Abril	1,48	Abril	15,82	Abril	11,56	Abril	9,95	Abril	9,95	Abril	105,34	Abril	105,34	
Mayo	1,94	Mayo	21,92	Mayo	13,50	Mayo	12,91	Mayo	12,91	Mayo	102,40	Mayo	102,40	
Junio	6,68	Junio	17,95	Junio	11,53	Junio	12,96	Junio	12,96	Junio	121,93	Junio	121,93	
Julio	25,60	Julio	17,05	Julio	10,45	Julio	16,28	Julio	16,28	Julio		Julio		
Agosto	30,84	Agosto	13,41	Agosto	9,69	Agosto	8,00	Agosto	8,00	Agosto		Agosto		
Septiembre	23,93	Septiembre	13,56	Septiembre	11,35	Septiembre	10,22	Septiembre	10,22	Septiembre		Septiembre		
Octubre	19,66	Octubre	12,72	Octubre	7,60	Octubre	13,33	Octubre	13,33	Octubre		Octubre		
Noviembre	17,07	Noviembre	13,19	Noviembre	8,68	Noviembre	12,05	Noviembre	12,05	Noviembre		Noviembre		
Diciembre	20,32	Diciembre	13,72	Diciembre	6,19	Diciembre	15,56	Diciembre	15,56	Diciembre		Diciembre		
Total	157,75	Total	190,65	Total	122,91	Total	143,45	Total	143,45	Total	518,99	Total	518,99	

¹⁴ FUENTE: EMAC



Gráfica 1 GRAFICAS DE COMPORTAMIENTO DE LOS PLASTICOS BLANDOS DESTINADOS A DESECHOS SANITARIOS DESDE 2006-2009¹⁵

¹⁵ FUENTE: AUTOR



Gráfica 2 GRAFICO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PLASTICOS RIGIDOS DESTINADOS AL DESECHO SANITARIO DESDE 2006 – 2009¹⁶

¹⁶ FUENTE: AUTOR

1.3 Análisis estadístico del volumen de plástico reciclado del cantón Cuenca.

1.3.1 ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para determinar el porcentaje de cada tipo de plástico se procedió a realizar un estudio estadístico basado en tres factores

- El nivel de confianza deseado.
- El margen de error que el investigador está dispuesto a tolerar.
- La variabilidad de la población que se estudia.

Los niveles de confianza más comunes son el 90%, 95% y el 99% pero se puede usar cualquier nivel entre 0 y 100%. Entre mayor sea el nivel de confianza elegido, mayor será el tamaño de la muestra.

El error permisible se designa con E, este es el valor del error que las personas que realizan el estudio están dispuestas a tolerar, este error corresponde a la mitad de la amplitud del intervalo de confianza.

La desviación estándar poblacional es el tercer factor a tomar en cuenta, el cual indica que si la población a analizar es dispersa la muestra será grande, pero si la población es concentrada (homogénea) se necesitara una muestra más pequeña.

Para saber cuál es el tamaño de nuestra muestra que se necesita hacer el análisis se realizara por medio del método proporcional en el cual también es necesario especificar tres valores.

El margen de error que el investigador está dispuesto a tolerar: $E = 0.1$. Este valor se justifica dado el volumen muy alto de basura que colecta en todo el cantón de Cuenca y debido que el consumo de plástico que se consume mensualmente es demasiado alto.

El nivel de confianza deseado = 90% que corresponde a un valor de $z = 1.64$. (Tabla de la distribución normal z)¹⁷

Como no se cuenta con una estimación de la proporción poblacional, se utilizara: $p = 0.5$ y $q = 0.5$. Justificándose porque (Si se cuenta con un valor estimado de π **que es la proporción poblacional**, proveniente de algún estudio piloto o de alguna otra fuente, se puede

¹⁷ FUENTE: DOUGLAS A. LIND, WILLIAM G. MARCHAL, ROBERT D. MANSON; *Estadística Para Administración y Economía*; 11^{va} Edición (PAG 758, APENDICE D); 200H Alfaomega, Grupo Editor S.A. de C.V., BOGOTÁ-COLOMBIA

usar. De lo contrario se utiliza 0.50. Por ejemplo, si $p = 0.30$, entonces $p(1 - p) = 0.3(1 - 0.3) = 0.21$, pero cuando $p = 0.5$, $p(1 - p) = 0.5(1 - 0.5) = 0.25$ ¹⁸

Dónde:

$$n = p(1 - p) \left(\frac{z}{E} \right)^2$$

$$n = 0.5(1 - 0.5) \left(\frac{1.64}{0.10} \right)^2$$

$$n = 68.24 \approx 69 \text{ Muestras}$$

La tabulación realizada de las 69 muestras de fundas de plástico reciclado en la ciudad de Cuenca, se obtuvo los siguientes promedios. (El detalle de tabulación ver Anexo A)

La tabulación se realizó en el relleno sanitario Pichicay, la elección de cada muestra fue aleatoria, recopilando fundas en los diferentes días en el que la recolección de plástico se realiza. Una vez seleccionadas las fundas se procedió a la separación en función al tipo de plástico que esta contenían, para luego ser pesados y por medio de estos datos establecer un promedio porcentual del volumen de cada plástico que llega al relleno sanitario.

Tabla 5 PROMEDIO DE MUESTREO DE PLASTICO RECICLADO (FUNDAS CELESTES, SELECTIVA)¹⁹

Material Reciclado	Promedio #1 %	Promedio #2 %	Promedio #3 %	Promedio #4 %	Promedio #5 %	Promedio #6 %	Promedio #7 %
PET	29,67	40,85	26,37	41,49	20,25	27,33	40,97
PELDL	20,47	35,01	30,76	29,70	29,51	23,00	26,20
PEHD	32,63	21,11	33,09	18,29	31,67	30,92	7,40
PELD	0,00	0,00	0,00	1,51	6,00	0,00	8,23
PP	0,00	0,81	9,78	4,52	12,57	2,68	3,85
PS	0,84	2,22	0,00	3,81	0,00	1,03	10,94
PVC	14,72	0,00	0,00	0,00	0,00	13,11	0,00
Espuma	1,67	0,00	0,00	0,69	0,00	1,94	2,40

¹⁸ FUENTE: DOUGLAS A. LIND, WILLIAM G. MARCHAL, ROBERT D. MANSON; *Estadística Para Administración y Economía*; 11^{va} Edición (PAG 320, APENDICE D); 200H Alfaomega, Grupo Editor S.A. de C.V., BOGOTA-COLOMBIA

¹⁹ FUENTE: AUTOR

Promedio #8 %	Promedio #9 %	Promedio # 10 %	Promedio # 11 %	Promedio # 12 %	Promedio # 13 %	Promedio # 14 %	Promedio Total %
40,67	31,78	35,18	40,18	28,40	41,66	7,53	32,31
32,94	26,64	20,83	24,41	28,00	23,76	38,89	27,87
7,69	14,05	10,64	6,00	19,87	3,14	26,72	18,80
2,09	1,74	4,04	3,83	8,88	0,10	1,73	2,72
3,69	20,45	9,52	3,45	2,44	9,99	11,84	6,83
0,00	0,00	10,56	3,64	4,88	6,00	0,00	3,14
12,92	0,00	5,88	13,06	7,52	14,21	0,00	5,82
0,00	5,34	3,35	5,44	0,00	1,15	13,29	2,52

Una vez obtenidos los datos de los porcentajes de los diferentes plásticos por muestra, se procede a determinar los pesos reales en toneladas de cada plástico los seis primeros meses del año 2010, promediando el porcentaje de cada plástico (Promedios total de tabla 5), con el volumen total de cada mes de plástico reciclado.

Tabla 6 PESO EN (t) DE LOS DIFERENTES PLÁSTICOS DEL 2010²⁰(FUNDA CELESTE)

Peso en t de los diferentes plásticos del 2010									
Mes	Peso t	PET 32,31%	PELDL 27,87%	PEHD 18,80%	PELD 2,72%	PP 6,83%	PS 3,14%	PVC 5,82%	Espuma 2,33%
ENERO	31,06	10,39	8,54	5,72	0,84	2,07	0,98	1,81	0,72
FEBRERO	63,11	21,11	17,35	11,62	1,70	4,20	1,98	3,67	1,47
MARZO	95,15	31,83	26,16	17,53	2,57	6,34	2,99	5,54	2,22
ABRIL	105,34	35,24	28,96	19,40	2,84	7,02	3,31	6,13	2,45
MAYO	102,40	34,25	28,15	18,86	2,76	6,82	3,22	5,96	2,39
JUNIO	121,93	40,79	33,52	22,46	3,29	8,12	3,83	7,10	2,84
Promedio	106,21	34,31	29,60	19,97	2,98	7,26	3,33	6,18	2,47

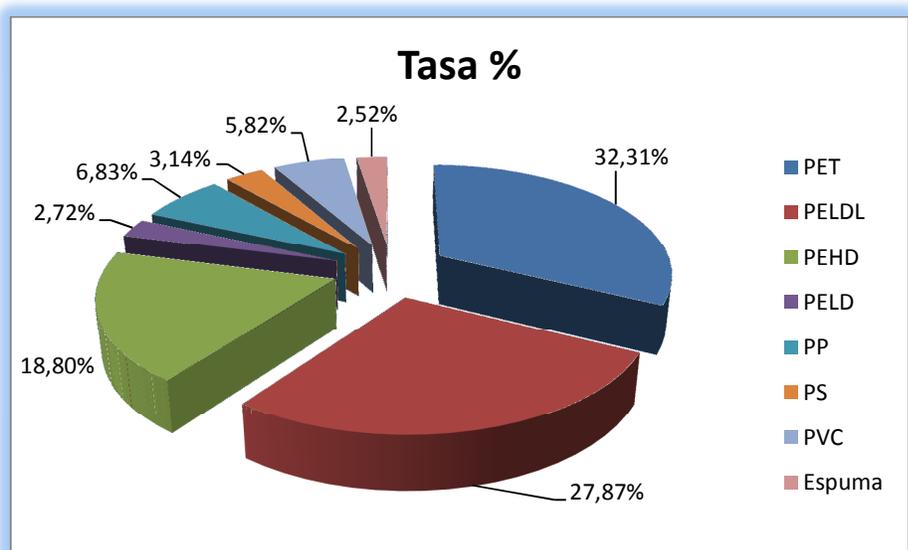
El promedio (caudal de plástico por mes) que se encuentra calculado al pie de la tabla anterior (Peso en t de los diferentes plásticos del 2010) se la realizó sólo con los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio que es donde los datos se han estabilizado ya que la gente está tomando más conciencia sobre el reciclado de los desperdicios. Y a continuación se encuentra la tabla con el consumo de cada plástico semanalmente.

²⁰ FUENTE: AUTOR

Tabla 7 CAUDAL SEMANAL DE PLASTICO RECICLADO EN TONELADAS²¹

<i>Material Reciclado</i>	<i>Caudal Semanal (t)</i>	<i>Tasa %</i>
<i>PET</i>	8,58	32,31
<i>PELDL (Fundas)</i>	7,40	27,87
<i>PEHD</i>	4,99	18,80
<i>PELD</i>	0,72	2,72
<i>PP</i>	1,82	6,84
<i>PS</i>	0,83	3,14
<i>PVC</i>	1,55	5,82
<i>Espuma</i>	0,62	2,33
<i>Total</i>	26,50	99,83

En la gráfica que se encuentra a continuación se estratifica la tasa porcentual semanal de consumo de los diferentes plásticos que se recicla en la ciudad de Cuenca.



Gráfica 5 CAUDAL SEMANAL PORCENTUAL

Según los datos facilitados por el EMAC, el volumen porcentual de plástico es: Plástico rígido 6.67 y plástico Blando 4.67, proporcionando un total de 11.34% del volumen total de plástico que llega al relleno sanitario de Pichicay.

²¹ FUENTE: AUTOR

Estos datos van a ser tomados en cuenta para el dimensionamiento de las características básicas del sistema de reciclado, ya que los mismos representan el caudal que debe procesar la extrusora semanalmente.

1.4 Reciclado

El reciclaje se define como la reducción de un residuo en el ciclo de producción para ser reutilizados como materia prima para la fabricación de objetos como por ejemplo, plásticos, vidrios, cartones, etc. El material extraído, tras ser reciclado no necesariamente cumplirá la misma función que cumplió en su vida útil como material virgen.

Los plásticos son materiales con muchas ventajas, la baja permeabilidad y una resistencia relativamente alta a los productos químicos, al impacto, a la humedad y al fuego. No obstante, la fabricación, procesamientos y utilización generan muchos desechos y es necesario que estos se gestionen de manera apropiada para proteger a la comunidad y al medio ambiente.

Por su estructura y polimerización se diferencian entre Termoplásticos y Termoestables.

Los termoplásticos son cerca del 80% de los plásticos producidos hoy en día. Ejemplos de termoplásticos:

- Polietileno de alta densidad (HDPE) usado en tuberías, tanques de combustible, automotores, botellas, juguetes.
- Polietileno de baja densidad (LDPE) usado en bolsas plásticas, películas perseverantes, contenedores flexibles.
- Polietileno tereftalato (PET) botellas, carpetas y envase de alimentos
- Polipropileno (PP) usado en contenedores de alimentos, cajas de baterías, cajas de botellas, partes de autos y fibras.
- Poliestireno (PS) usado en contenedores de productos lácteos, cintas de grabación, vasos y platos
- Cloruro de polivinilo (PVC) usado en estructuras de ventanas, pisos, botellas, películas de envase, aislamiento de cables, tarjetas de crédito y productos médicos.

Hay centenares de tipos de polímeros termoplásticos. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, se tiende a reducir su uso en forma común.

Los termoestables resultan el 20% de los plásticos producidos. Son endurecidos por “curado” y no pueden ser refundidos o remodelados, por lo que resultan difícil de reciclar. Estos tipos de polímeros suelen ser enterrados o utilizados como material de relleno. Por ejemplo:

- Poliuretano (PU) – cubiertas, terminaciones, engranajes, diafragmas, amortiguadores, defensas y asientos de autos.
- Epóxicos– adhesivos, equipos deportivos, equipos eléctricos y automovilísticos.
- Fenólicos – hornos, mangos de instrumentos de cuchillería, partes de autos y pizarras de circuitos (Fundación para la Investigación Mundial).

1.4.1 PLÁSTICOS PARA RECICLAR

No todos los plásticos son reciclables. Hay cinco tipos de plástico que normalmente se reciclan:

- Politereftalato de etileno (PET)
- Polietileno (PE) – ambos, alta y baja densidad.
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Cloruro de polivinilo (PVC)

La ventaja que se tienen en los envases de plásticos es que se encuentra unas siglas situadas normalmente en la parte inferior que nos indican el **tipo de plástico** y se podrá saber si es **más o menos reciclable**.

Estas siglas consisten en un número del 1 al 7 dentro del símbolo de reciclado y unas letras debajo. A continuación se indica los diferentes tipos y algunos objetos en donde se encuentran y la capacidad de ser reciclados de los mismos:

Tabla 8 CODIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LOS DIFERENTES PLÁSTICOS²²

<i>Nombre</i>	<i>Código</i>	<i>Significado</i>	<i>Aspecto</i>	<i>En qué productos se encuentra este plástico</i>	<i>Capacidad de ser reciclado</i>
PETE o PET		Politereftalato de etileno	Plástico completamente transparente, sin color o verde.	Botellas de aguas minerales, de gaseosa, botellas de refrescos	Reciclable
PEHD (Soplado)		Polietileno de alta densidad	Plástico opaco, blando que se puede comprimir con la mano.	Botellas, baldes, tinas, fundas de suero, recipientes de alimento envases de yogurt.	Reciclable
PVC		Policloruro de vinilo	Variable	Recipientes domésticos, envoltorios de carne, carpetas de oficina., mangueras, aislamiento de cables eléctricos	Muy poco reciclable
PELD (soplado)		Polietileno de baja densidad	Variable	Botellas, baldes, tinas, fundas de suero, recipientes de alimento (Tampico), envases de yogurt.	Ocasionalmente reciclable
PP		Polipropileno	Plástico duro, no se puede comprimir con la mano, se rompe bajo presión	Botellas, baldes, tinas, recipientes, envases de yogurt, grandes, recipientes de alimentos, platos desechables.	Ocasionalmente reciclable
Espuma-flex (PS)		Espuma de poliestireno	Espuma blanca coagulada gruesa o fina	Materiales de embalaje que sirven para amortiguar golpes (embalajes de electrodomésticos etc.), platos Desechables, cajas de huevos.	Ocasionalmente reciclable
Otros		Plásticos mezclados	Variable	Otros plásticos, incluido acrílico, acrilonitrilo butadieno estireno, fibra de vidrio, nylon, policarbonato y poliácido láctico	Muy poco reciclable

²² FUENTE: AUTOR.

1.4.2 FUENTES DE PLÁSTICOS

Puede obtenerse de los residuos (o desechos primarios) de grandes fábricas procesadoras de plásticos. El plástico rechazado normalmente tiene buenas características para reciclar y sobre todo se encuentra limpio. Los desechos comerciales se obtienen, a menudo en los talleres, artesanías, almacenes, supermercados y comercios mayoristas. Gran parte de los plásticos disponibles de estas fuentes es PE, usualmente contaminado. Los residuos agrícolas pueden obtenerse de las granjas y huertos de cultivo o jardines fuera de las áreas urbanas. Generalmente están en forma de envases (láminas o contenedores) o materiales de construcción (mangueras). Los desechos municipales pueden colectarse de las áreas residenciales (residuos domésticos), calles, parques, depósitos de recolección y vertederos.

1.4.3 IDENTIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE PLÁSTICOS

Existen varias pruebas que permiten distinguir y separar los tipos más comunes de polímeros a fin de que puedan procesarse por separado.

Prueba de densidad: para poder identificar qué tipo de plástico es, esta técnica se basa en las densidades de cada uno. Dependiendo de la densidad, el plástico al ser introducido en agua tiende a precipitarse o como en la mayoría de los plásticos tienden a flotar.

Tabla 9 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE DENSIDAD. (FLOTACIÓN)²³

<i>Prueba</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>	<i>PET</i>
<i>Densidad gr/cm³</i>	0.92-0.96	0.905	1.05	1.20-01.35	1.35
<i>(Flota en agua)</i>	Si	Si	Si	No	No

²³ FUENTE: AUTOR.



Esquema 1 PUEBA DE DENSIDAD²⁴

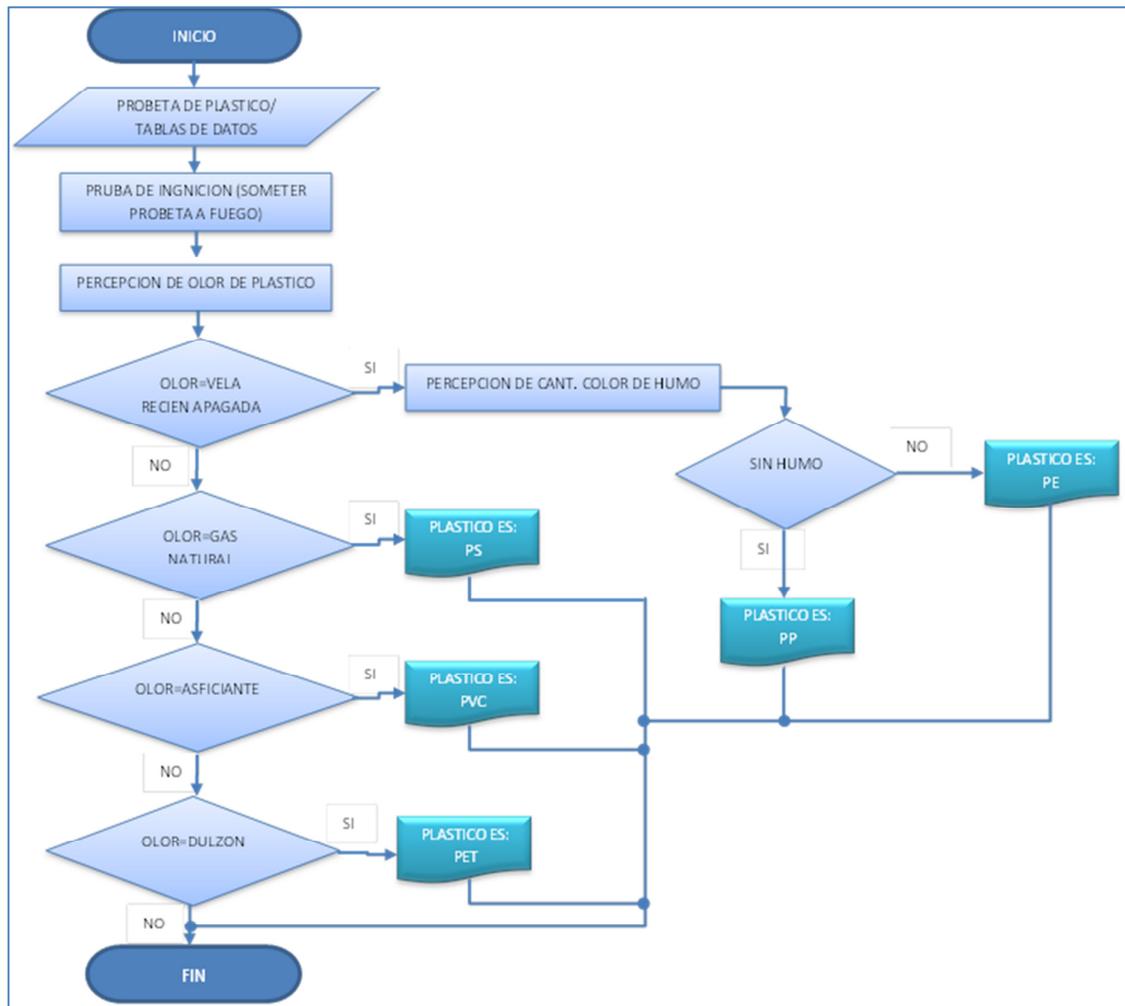
Prueba de ignición: Se sostiene un pedazo del plástico en unas pinzas o en la parte de atrás de un cuchillo y aplica una llama.

Tabla 10 DETERMINACION DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE COMBUSTIÓN²⁵

<i>Prueba</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>	<i>PET</i>
<i>Cantidad y color de humo</i>	Muy poco y blanco	Sin humo	Negro con hollín	Bastante blanquizado	Negro con hollín
<i>Color de la Llama</i>	Amarilla, centro azul	Amarilla, centro azul	Amarilla	Contorno verde	Amarillo anaranjado
<i>Combustibilidad</i>	Continua tras quitar la llama.	Continua tras quitar la llama.	Continua tras quitar la llama.	Llama auto extingible	Continua tras quitar la llama.
<i>Tipo de fusión</i>	Funde rápido y gotea.	Funde rápido y gotea.	Se vuelve pastoso	Se ablanda	gotea
<i>Olor</i>	A vela recién apagada.	Intenso a vela recién apagada.	A gas natural	Asfixiante	dulzón

²⁴ FUENTE: AUTOR

²⁵ FUENTE: AUTOR.



Esquema 2 PRUEBA DE IGNICION²⁶

Prueba de Flexión: Esta prueba consiste en aplicar una fuerza al material, por medio de esta se puede determinar si el plástico se fleja y tiende a mantener el dobléz o se recupera con facilidad, o tiende a quebrarse.

²⁶ FUENTE: AUTOR

Tabla 11 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE FLEXIÓN²⁷

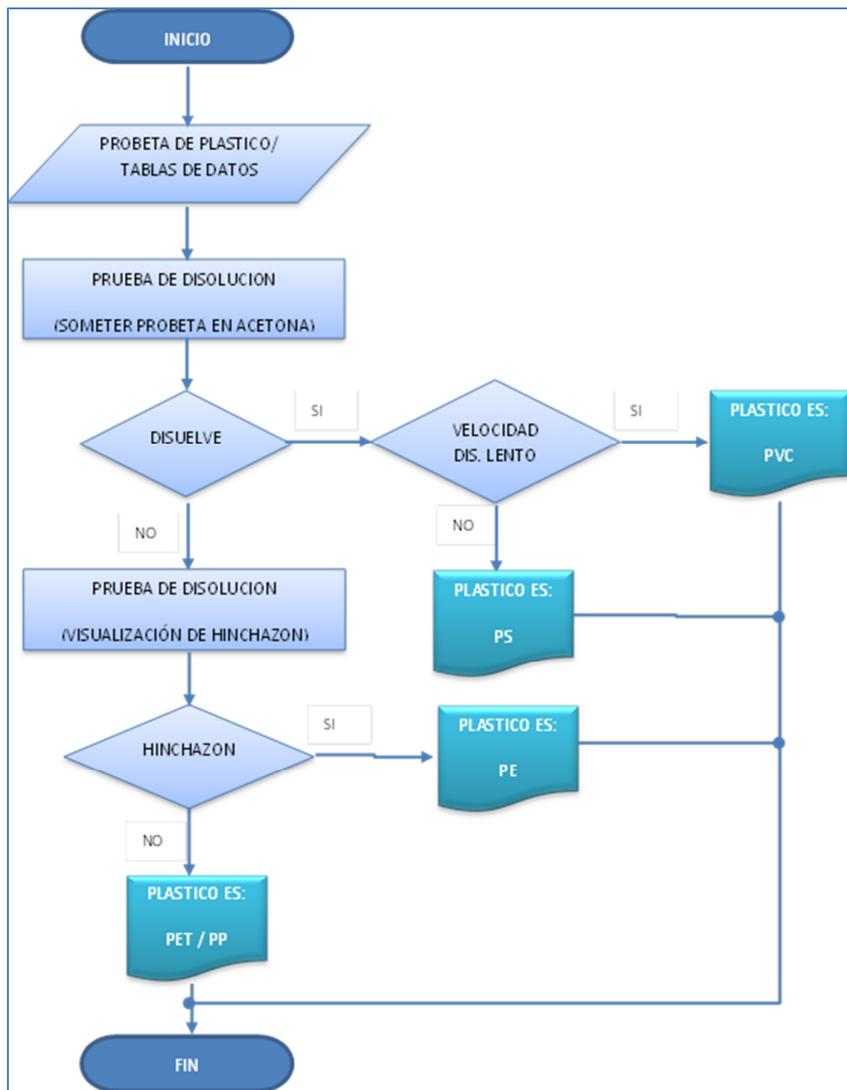
<i>Material</i>	<i>Flexión</i>		<i>Flexión y dobladura</i>	<i>Rotura</i>	
	<i>Nivel de esfuerzo</i>	<i>Estado final de la probeta</i>	<i>Estado final de la probeta</i>	<i>Rotura en la flexión (# de dobles)</i>	<i>Estado final de la probeta</i>
<i>PEAD</i>	Baja	Recuperación completa	Recuperación 135°	-----	Dobladura deformado. Comportamiento elástico
<i>PEBD</i>	Bajo	Recuperación casi completa	Zona emblanquecida en 3mm 90°	-----	Deformación grande. Perdida de espesor
<i>PP</i>	Medio	Recuperación completa	Zona emblanquecida en 90°	-----	Zona emblanquecida perdida de espesor
<i>PS</i>	Alto	Recuperación completa	-----	1	-----
<i>PVC</i>	Baja	Recuperación completa	Recuperación completa	-----	No se deforma

Prueba de disolución: A los plásticos, para realizarles este tipo de pruebas, se basa en su estructura molecular, dependiendo de ésta el plástico se disolverá con facilidad o no. Para realizar esta prueba al plástico se lo embebe de disolvente, de forma que va separando las cadenas, esto se observa macroscópicamente por el hinchamiento del sólido. Dependiendo del plástico, algunos sólo tienden a presentar un proceso de hinchamiento.

²⁷ FUENTE: AUTOR

Tabla 12 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICO - PRUEBA DE DISOLUCIÓN.²⁸

<i>Material</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>	<i>PET</i>
<i>Solubilidad en acetona</i>	no	No	Si	Si (muy lento)	no
<i>Hinchamiento</i>	si	No	-----	si	no



Esquema 3 PRUEBA DE DISOLUCIÓN²⁹

²⁸ FUENTE: AUTOR.

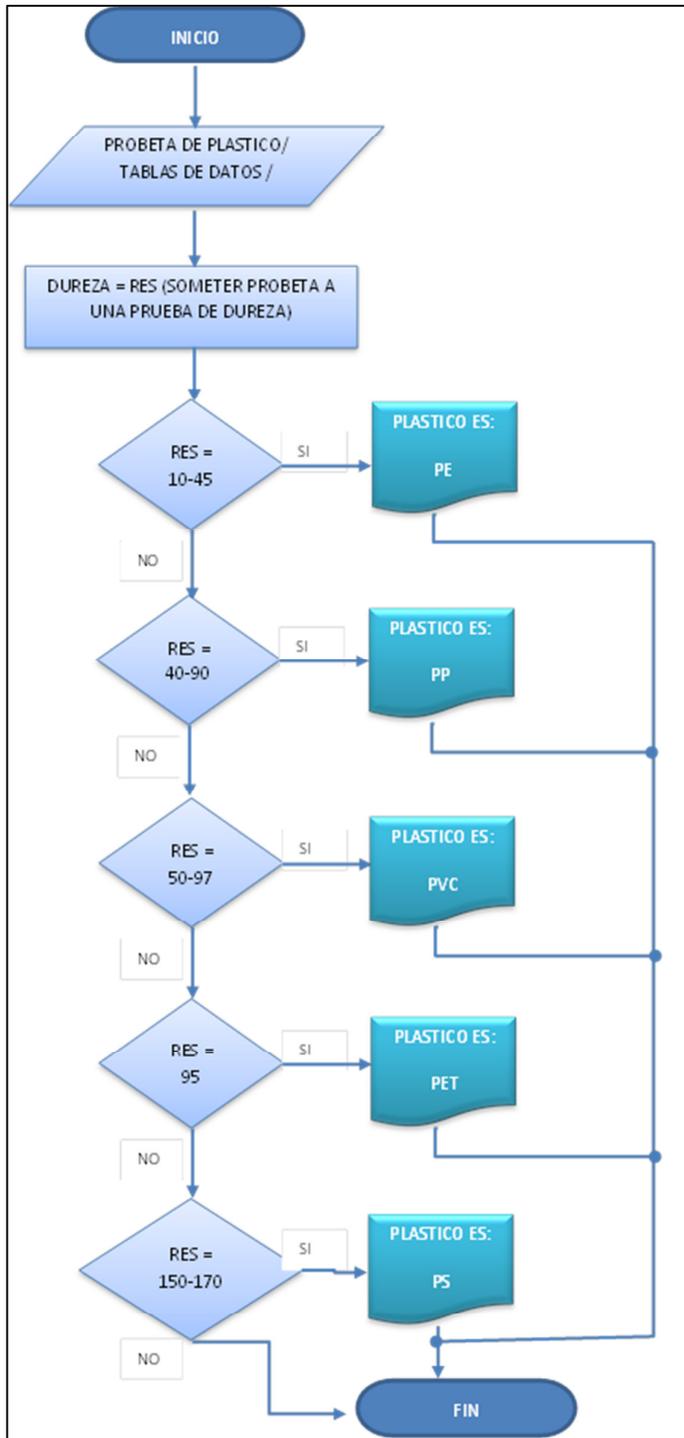
²⁹ FUENTE: AUTOR

Prueba de Dureza: En el ensayo de dureza consiste en aplicar una carga con un equipo de medición, y determinar la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. Para plásticos, la unidad para representar la dureza es la escala Shore A.

Tabla 13 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE DUREZA³⁰

<i>Prueba</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>	<i>PET</i>
<i>Dureza (Shore A)</i>	10-45	40-90	150-170	50-97	95

³⁰ FUENTE: AUTOR.



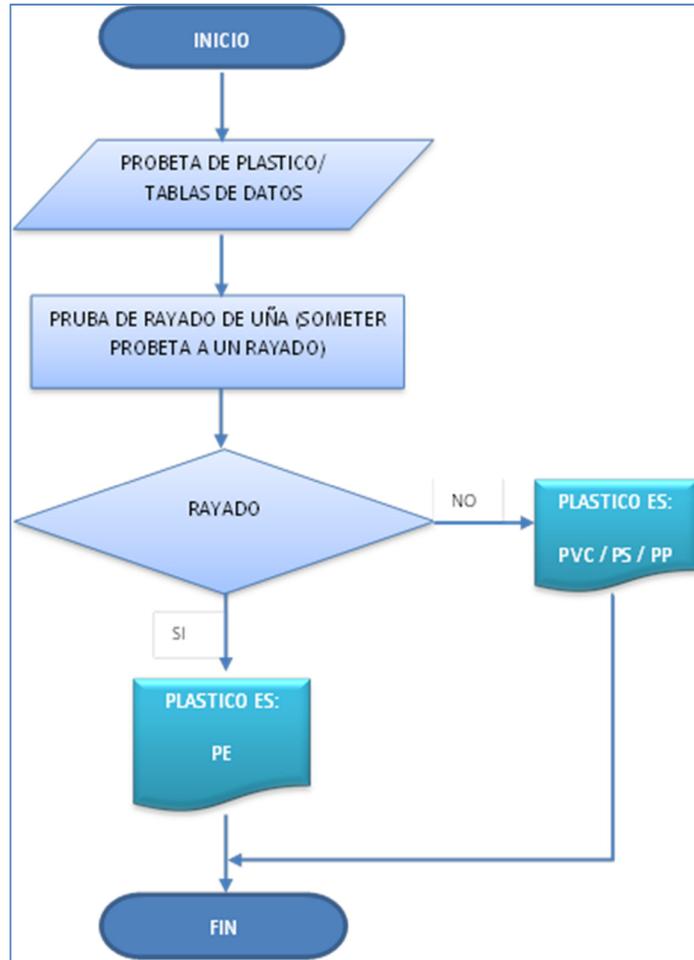
Esquema 4 PRUEBA DE DUREZA³¹

Prueba de rayado: Este tipo de prueba, se basa en la facilidad de que un material plástico sea o no rayado con la uña. Esto implica que la persona que quiera determinar el tipo de material, tenga conocimiento sobre que plástico puede ser rayado o no.

³¹ FUENTE: AUTOR

Tabla 14 DETERMINACIÓN DE PLÁSTICOS - PRUEBA DE RAYADO DE UÑA.

<i>Prueba</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>
<i>Raspado de uña</i>	Si	No	No	No



Esquema 5 PRUEBA DE RAYADO DE UÑA³²

Hoy en día, el incremento de productos ha sido notable, entendido por una insatisfacción de las necesidades del hombre. Muchos de éstos resultan muy perjudiciales para el medio ambiente, la salud humana y animal, por esta razón la sociedad con ayuda de los ecologistas, han iniciado una fuerte propaganda a favor del reciclaje.

Para el reciclado de los materiales plásticos se tienen 3 etapas fundamentales que son:

³² FUENTE: AUTOR

1.4.4 ETAPAS PARA RECICLAR EL PLÁSTICO:

Recolección: Todo sistema de recolección se basa en un principio fundamental, que es la separación en el hogar, en material orgánico y material inorgánico, que luego serán recolectadas en forma diferenciada, permitiendo así que sea fácil trasladar hacia sus respectivas plantas para su procesamiento.



Ilustración 2 FOTOGRAFÍAS DEL GALPÓN DE RECOLECCIÓN DE RECICLADO EN EL SECTOR DE PICHICAY (SANTA ANA)-CUENCA³³

Centro de reciclado: Aquí se reciben los residuos plásticos compactados, los cuales son almacenados a la intemperie. Existen desventajas para el almacenamiento prolongado en estas condiciones, ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material, razón por la cual se recomienda procesarla de forma inmediata o almacenarlas bajo cubierta.



Ilustración 3 CENTRO DE RECICLADO³⁴

Clasificación: una vez receptado el plástico en el centro de reciclado, se realiza una clasificación por tipo de plástico y color. Esto puede hacerse manualmente, aunque existen tecnologías de clasificación automática. Este proceso se ve facilitado si existe una entrega diferenciada de este material, lo cual podría hacerse con el apoyo de la ciudadanía y promoción por parte de los municipios.

³³ FUENTE: AUTOR

³⁴ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007



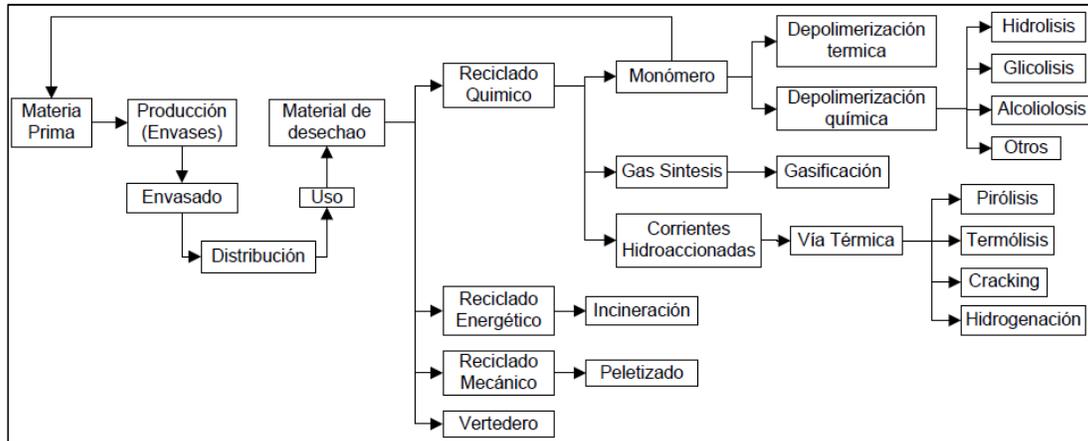
Ilustración 4 CLASIFICACIÓN DE MATERIAL RECICLADO³⁵

Para poder llevar a cabo el reciclaje de los residuos plásticos, es fundamental la colaboración ciudadana a la hora de la separación selectiva de las basuras en el hogar. Los ciudadanos separan y las empresas encargadas proceden al reciclado.

Una vez clasificado el material plástico, se procede a la aplicación de cualquiera de los métodos de reciclado de materiales plásticos.

1.4.5 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

Existen distintos procesos de reciclaje en función de los que se quiere obtener con los diversos plásticos.



Esquema 6 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS³⁶

Los principales sistemas de reciclaje son los siguientes:

³⁵ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA; Noviembre de 2007

³⁶ FUENTE: AUTOR

1.4.5.1 Reciclaje químico:

Hay plásticos que son **reciclados físicamente**, para ello, generalmente son recolectados, lavados y molidos, para luego ser reprocesado como materia prima para su nueva aplicación. Este proceso se podía decir que es sencillo, pero no se puede aplicar a todos los plásticos ni realizarse este proceso numerosas veces, los plásticos reciclados son de menor calidad que el material nuevo (material virgen). Cada vez que el material es reciclado sufre un proceso de degradación, disminuyendo sus propiedades. El reciclaje físico requiere que el material se encuentre libre de impurezas y contaminación, no sólo de sustancias tóxicas o peligrosas, sino también de otros plásticos o materiales. Este es uno de los inconvenientes más grandes para lograr un buen reciclaje físico, la separación de los materiales.

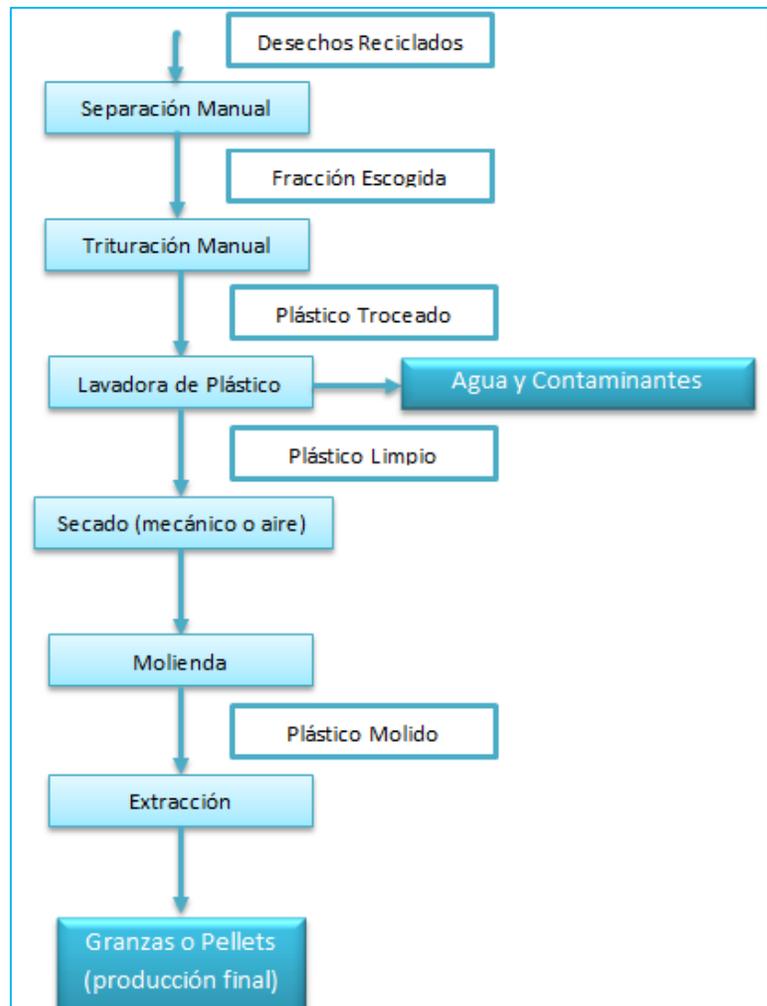
Como alternativa se puede realizar el **reciclaje químico**, el cual, implica cambios en la estructura química del material. El reciclaje químico, al basarse en reacciones químicas específicas, no necesita los complicados pasos de purificación (lavado).

El reciclado químico permite utilizar al desecho plástico como materia prima, no sólo para producir nuevamente el material virgen, sino producir otros materiales con diferentes características.

Hay muchos procesos de reciclado químico, de los cuales los más importantes son: Pirolisis, Gasificación, Quimiólisis, Cracking, Disolventes, Metanólisis, Glicólisis e Hidrólisis. Otra alternativa del proceso de reciclado químico, es para fabricar un material, denominado concreto polimérico, con aplicación en el campo de la construcción.

Los procesos de reciclado químico como: glicolisis, Metanólisis e hidrólisis son similares, por lo tanto se desarrollara con más detalle solamente uno de ellos, y a continuación se indicara la formación del concreto polimérico a partir de PET.

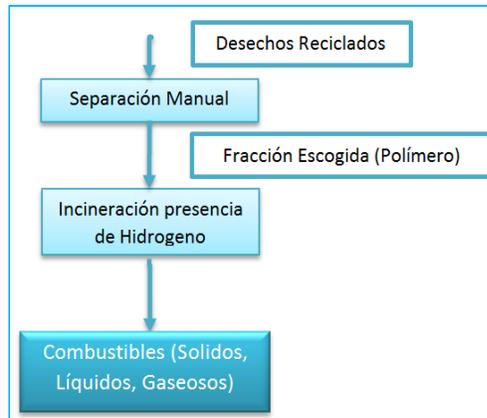
Pirolisis o Craking: Este proceso se utiliza para materiales plásticos como el PP y PS pero también para mezclas de plásticos difíciles de separar. Mediante la pirolisis se produce la descomposición térmica, en atmósfera inerte, de las moléculas que conforman los materiales plásticos se pueden separar en tres fracciones: gas, sólido y líquido, que servirán de combustible y de productos químicos. De los polietilenos se podría conseguir, la obtención de etileno para fabricación de nuevos plásticos y también genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías. El inconveniente de la pirolisis es el elevado precio de instalaciones y producción.



Esquema 7 PROCESO DE PIROLISIS O CRACKING³⁷

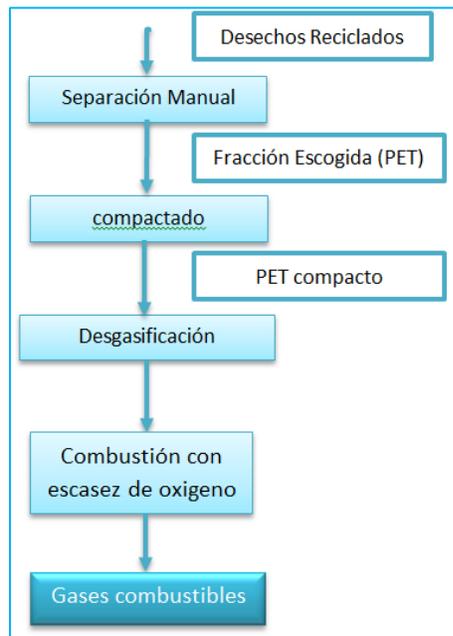
Hidrogenación (Hidrólisis): Consiste en la aplicación de energía térmica a los materiales plásticos en presencia de hidrógeno. Las cadenas poliméricas son rotas para dar lugar a combustibles líquidos, petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas. Es una de las técnicas más estudiadas y bastante desarrollada.

³⁷ FUENTE: AUTOR



Esquema 8 PROCESO DE HIDROGENACIÓN³⁸

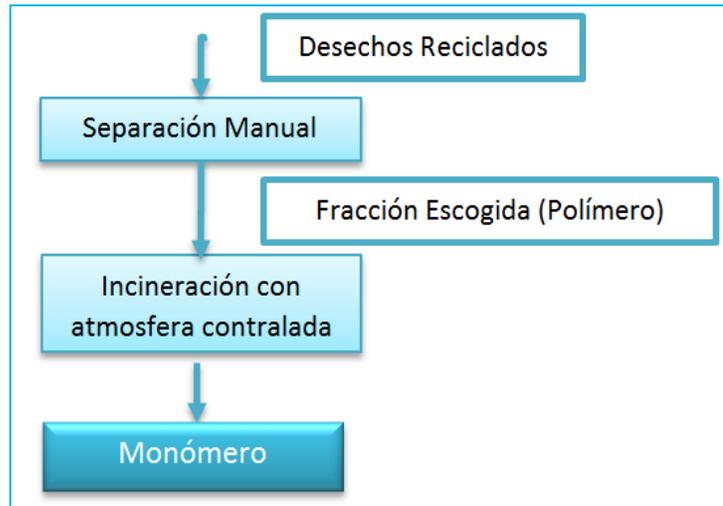
Gasificación: Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno, obteniendo gas de síntesis (CO y H₂O) monóxido de carbono, que es un gas combustible que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco, también es utilizado con frecuencia en la industria metalúrgica como agentes para la producción de acero en hornos de venteo. Lo primero que se hace es la compactación de los plásticos para reducir su volumen, se produce una desgasificación y después una pirolisis que continúa elevando la temperatura para hacer la gasificación. Una de las mayores ventajas de la gasificación es que no necesita la separación selectiva por material.



Esquema 9 PROCESOS DE GASIFICACIÓN APLICACIONES A LOS RESIDUOS PLASTICOS³⁹

³⁸ FUENTE: AUTOR

Quimiolisis: Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poli-acetales y poliamidas. Una desventaja es que requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la re-polimerización.

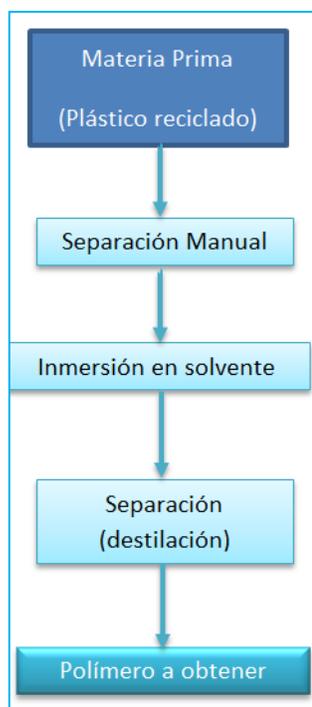


Esquema 10 ESQUEMA DE PROCESO DE QUIMIOLISIS⁴⁰

Disolventes: por este método, mediante la utilización de disolventes se pueden separar mezclas de plásticos, difíciles de separar. Por ejemplo el ciclohexanona o el xileno, pueden extraer el PVC de una mezcla. Una vez separados los materiales se podrán reciclar por separado mediante alguna de las técnicas descritas anteriormente.

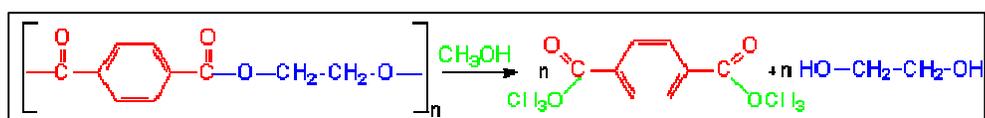
³⁹ FUENTE: AUTOR

⁴⁰ FUENTE: AUTOR



Esquema 11 PROCESO DE SEPARACIÓN DE PLÁSTICOS CON DISOLVENTES⁴¹

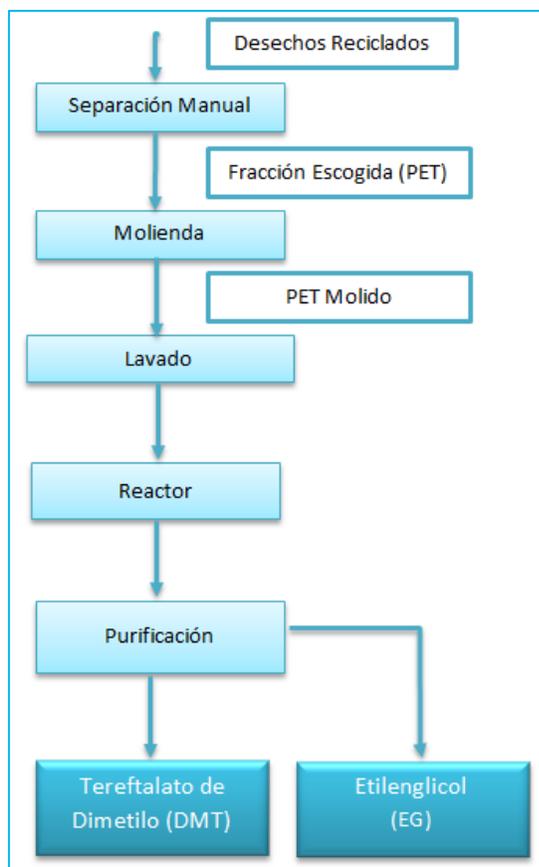
Proceso de Metanólisis- proceso Petrectec: A este proceso se le conoce también como Tecnología de Regeneración del Poliéster (Petrectec). El proceso puede tratar films de poliéster, fibras y plásticos con niveles de contaminantes muchos mayores que los aceptados en el reciclado mecánico como material reciclable. Este proceso utiliza reacciones químicas basadas en "des condensar" las moléculas de poliéster. Cualquier PET que contenga metales, tintes u otros materiales que interferirían en el reciclado es separado y destinado al reciclado mecánico, vertido o incineración. El PET remanente se disuelve en DMT (N-dimetiltriptamina) a temperaturas por encima de los 220°C, formándose una disolución de desecho de PET en DMT. En una reacción de transesterificación del polimerizante, el PET reacciona con metanol para producir los monómeros originales del polímero, como se muestra debajo. La reacción se lleva a cabo a escala industrial en un reactor de Metanólisis a 260-300°C, y una presión de 340-650 kPa.



Esquema 12 PROCESO DE METANOLISIS

⁴¹ FUENTE: AUTOR

Del reactor de Metanolisis, el DMT y el etilenglicol (EG), mezclados con un exceso de metanol se pasan a través de una columna de eliminación de metanol. El metanol eliminado de esta manera se recicla en el proceso. El DMT y el EG forman un azeótropo que impide su separación por destilación. Para conseguir esto, los químicos de la Dupont añaden p-tolueno de metilo (MPT) en este punto del proceso Petrectec. Con ello se forma un azeótropo de MPT y EG, que permite la separación del DMT de los otros dos componentes. El destilado MPT/EG forma una solución de dos capas. La superior está enriquecida con MPT y puede reciclarse en el proceso. El DMT sigue una destilación fraccionada para aumentar su pureza.



Esquema 13 PROCESO DE METANOLISIS⁴²

La reacción de despolimerización, que es el centro de la tecnología Petrectec produce DMT y etilenglicol. La enorme ventaja de esto es que se reproducen monómeros idénticos a aquellos empleados como material de partida en la reacción de polimerización. Por

⁴² FUENTE: AUTOR

consiguiente, no existen límites en los usos del PET hecho a partir de ellos. Esto supone una reducción en la dependencia de los productos petroquímicos para la producción.

Tabla 15 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLADO QUIMICO⁴³

El proceso químico ofrece las siguientes ventajas:	El proceso químico ofrece las siguientes desventajas:
Muy competitivo económicamente. Para una planta de producción de 30,000 t/año se estima el costo de producción de unas 500 \$/t, debido a la utilización de aditivos de bajo costo y de baja consumación de energía.	Para que el sistema de reciclado químico sea económicamente fiable, es necesario tener un volumen de plástico a reciclar elevado. Este proceso es aplicable a grandes ciudades donde el consumo de productos plásticos es elevado.
El proceso químico tiene la ventaja que no es necesario la separación de los diferentes tipos de polímeros como por ejemplo la eliminación de tasa y etiquetas en los envases de gaseosas.	Esto implica una eliminación de plazas de empleo.
Ácido Terephtalico y Ethyleneglycol vendibles directamente a la industria química sin restricciones.	Conlleva un gran impacto ambiental, ya que emplea diferentes tipos de químicos los cuales durante el proceso emanan gases de tipo invernadero.
Alternativamente se puede producir un producto PHT (Polyhidroxilethilterephtalato) que puede ser utilizado directamente para la producción de envases de PET de primera necesidad.	Equipos de procesamiento emplean alto grado de manutención económica.
Plantas existentes convencionales de reciclaje PET pueden ser adaptadas para el proceso químico.	La instalación de un sistema de reciclado químico conlleva una inversión económica moderadamente alta.

⁴³ FUENTE: AUTOR

1.4.5.2 Reciclado energético

Dentro de las estrategias de las RRR's (reducir, reciclar y reutilizar), existe también la alternativa de aprovechamiento energético.

La incineración es un proceso que transforma los residuos en gases de combustión, escorias y cenizas, obteniendo una reducción en promedio de los residuos de un 90% en volumen, y un 75% en peso.

La incineración es un proceso técnico controlado, que utiliza la descomposición térmica, generalmente por vía de oxidación, para convertir los residuos en materiales menos voluminosos, no tóxicos ni perjudiciales.

Para poder ser destruido un residuo por incineración, lógicamente, debe estar constituido total o parcialmente por componentes que sean combustibles o puedan adecuarse a esta condición.

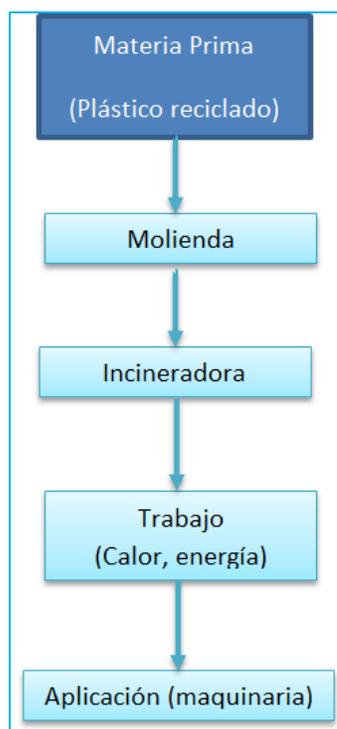
Los principales productos generados en la combustión de residuos orgánicos son el Dióxido de carbono, vapor de agua y cenizas inertes, aun cuando la incineración de residuos peligrosos puede formar otros productos en función de la composición química del material incinerado y sus condiciones de combustión.

Los plásticos usados para la incineración pueden ser aprovechados como combustible por su elevado poder calorífico; por ejemplo, un kg. de polietileno produce la misma energía que un kg. de fuel óleo. Estudios de eco balance demuestran que para muchos plásticos la recuperación energética es más beneficiosa que el reciclado mecánico o químico.

Esta alternativa está indicada para aquellos residuos que presentan deterioro o suciedad, como es el caso de una parte de los plásticos que procesen de la agricultura o en determinados casos de residuos sólidos urbanos.

La combustión es una idea interesante desde la perspectiva de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/kg, etc.). La combustión debe estar sujeta a fuertes controles medioambientales, para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos (como cloruro de hidrógeno de la combustión del PVC).

El PET es un polímero que está formado sólo por átomos de Carbono, hidrógeno y oxígeno, por lo cual al ser quemado produce sólo dióxido de carbono y agua ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) con desprendimiento de 6,3 Kcal/Kg. Esto es posible ya que durante su fabricación no se emplean aditivos ni modificadores, por lo que su combustión no provoca las emisiones de ningún gas tóxico.



Esquema 14 PROCESO DE RECICLADO ENERGETICO⁴⁴

Cuando se trata de comunidades pequeñas o medianas, geográficamente aisladas, las posibilidades de reciclado son limitadas por los volúmenes disponibles y los costos de transporte hacia centros que dispongan de infraestructura adecuada. En estos casos el aprovechamiento energético permite dar asistencia a escuelas, asilos y sectores de menores recursos para complementar su calefacción, agua caliente, etc. En estos casos las metas son directamente ambientales y sociales. El beneficio debe medirse en el mejoramiento de la calidad de vida de toda la comunidad.

Un gramo de PET libera una energía de 22,075 Btu/g similares a las que tienen otros combustibles derivados del petróleo. Es por ello, que en algunos países como Italia se viene utilizando en los hornos de las cementeras.

⁴⁴ FUENTE: AUTOR

Tabla 16 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLAJE ENERGETICO⁴⁵

La incineración permite plantear las siguientes ventajas:	Como inconvenientes de la incineración se pueden considerar:
Recuperar la energía térmica contenida en los residuos, obteniendo vapor y/o electricidad	Limitada flexibilidad para adaptarse a variaciones estacionales de la generación de residuos, o necesidad de un sobredimensionamiento
Reciclar del orden del 20% de los materiales quemados (escorias)	Alta inversión económica inicial
Importante disminución del volumen de los residuos (= 90 %) Importante reducción del peso de los residuos (aprox. = 75 %)	Generación de CO ₂ perjudicial al medio ambiente.
Costos operacionales moderados o bajos en el caso de incinerar con recuperación de energía	Necesita de sistemas de control y prevención para los gases de combustión
Limitada utilización de terrenos	Limitada aceptación pública.
Puede tratar cualquier tipo de residuo si su poder calorífico es adecuado	Costos operacionales elevados en el caso de incinerar sin recuperación de energía
Permite el reciclaje de los materiales metálicos contenidos en los residuos	Exposición a paros y averías
Permite la reutilización de las escorias como material en la construcción de carreteras	No supone un sistema de disposición total, precisa un acondicionamiento para las escorias (si no son recicladas) y especialmente para las cenizas

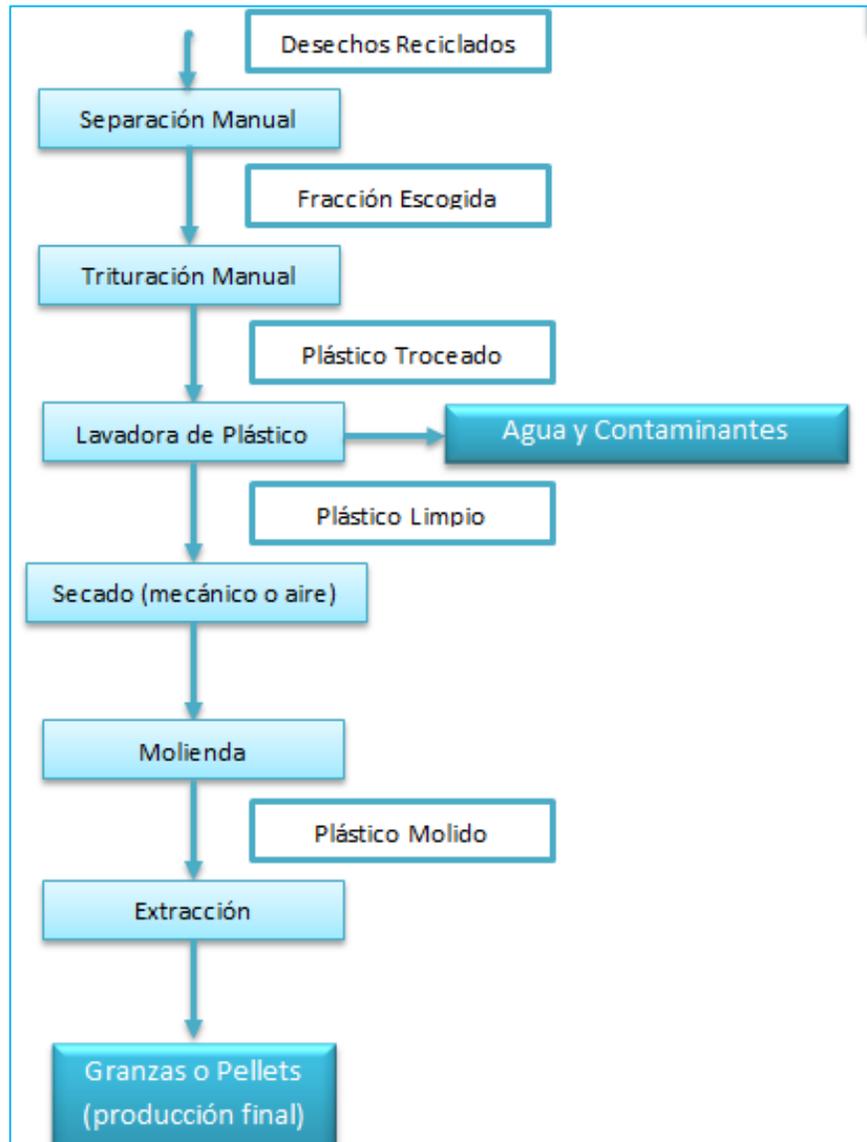
1.4.5.4 Reciclado Mecánico

El proceso mas utilizado para el reciclado, es el reciclado mecánico. Este consiste en la separación, la molienda y lavado de los envases. El material molido de este proceso se

⁴⁵ FUENTE: AUTOR

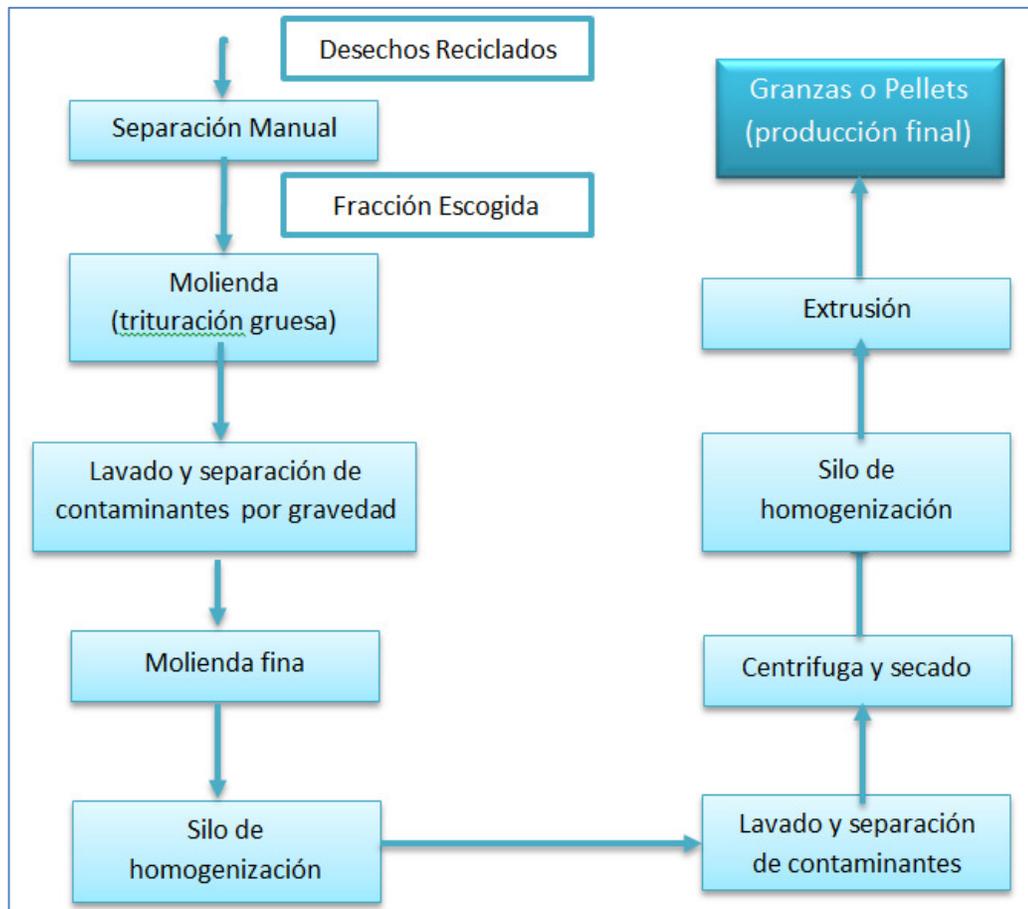
pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

La figura siguiente muestra un diagrama de este proceso.



Esquema 15 PROCESO DE RECICLADO MECANICO MANUAL⁴⁶

⁴⁶ FUENTE: AUTOR



Esquema 16 PROCESO DE RECICLADO MECANICO AUTOMÁTICO⁴⁷

Tabla 17 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLADO MECANICO

Ventajas que presenta el reciclado Mecánico.	Desventajas que presenta el reciclado Mecánico.
Desde el punto de vista técnico, se puede decir que las plantas de reciclado mecánico requieren inversiones moderadas.	Este proceso de reciclado requiere selección y lavado previo, según el tipo de plástico a procesar.
El proceso de reciclado mecánico del PET no conlleva contaminación del medio ambiente, con el tratamiento de los efluentes líquidos del proceso se llega a controlar el proceso ambientalmente.	De la misma manera este proceso de reciclado requiere de la eliminación de tapas y etiquetas

⁴⁷ FUENTE: AUTOR

<p>El reciclado mecánico de PET genera un producto de mayor valor agregado y es materia prima para la producción de productos de uso final, generando fuentes de trabajo en toda la cadena de reciclado. Es que existe mercado para el material molido y limpio. Como insumo o materia prima para producir otros artículos de uso final.</p>	<p>Los elementos generados en base al reciclado de PET, pero con la diferencia de que esta materia prima ya no es apta para productos de primera necesidad.</p>
--	---

El proceso de reciclaje mecánico es esencialmente el mismo para los distintos plásticos. Consiste en la separación y/o selección, limpieza, molido y en algunos casos el peletizado, aunque el moldeado por inyección, compresión o termo formación puede realizarse con el material limpio y molido.

Acopio de material

El acopio de material, es la recolección del material ya sea en puntos fijos o en recorridos, es importante indicar que un buen sistema de acopio garantizará un buen suministro de materia prima para el resto de los procesos.

Pacado

Es frecuente que en empresas de reciclado, el material se compacte para reducir su volumen y facilitar su transporte y almacenamiento. No obstante, el PET debido a su elevada recuperación elástico-plástica, es difícil de prensarlo.



Ilustración 5 PACADO DE MATERIAL RECICLADO⁴⁸

⁴⁸FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

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

Reducción de tamaño

La reducción de tamaño hace referencia al molido del material recolectado, cuyo principal objetivo es facilitar la siguiente operación dentro el proceso de reciclado, el cual puede ser la separación de los diferentes tipos de polímeros del material.

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



Ilustración 6 ESQUEMA Y FORMA DE UN MOLINO CONVENCIONAL PARA PET⁴⁹

Hoy en día existe tecnología para procesar y reducir material PET hasta polvo fino, usando cámaras criogénicas a partir de nitrógeno líquido, donde el nitrógeno líquido fragiliza considerablemente el material lográndose obtener material fino. Esta tecnología es bastante costosa, su mayor empleo es para el control de calidad en productos específicos como por ejemplo el control de niveles de acetaldehído en preformas para el soplado de botellas⁵⁰.

⁴⁹ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

⁵⁰ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

Separación

La separación tiene por finalidad liberar al plástico de interés (en nuestro caso PET) de diferentes tipos de materiales poliméricos, también de metales y algunas veces vidrio o papel.

La separación radica en que si existiesen otros materiales que al ser procesados juntamente con el material de interés perjudiquen la calidad del producto final.

Hoy en día existen métodos de separación automatizada que facilitan el proceso, basados en las diferencias de gravedad específica de los diferentes materiales, difracción de rayos x y disolución en solventes.



Ilustración 7 CINTA DE TRANSPORTACIÓN PARA CLASIFICACIÓN Y SEPARACIÓN⁵¹

Otra alternativa es la de tener sistemas de flotación cuando se reducen de tamaño todos los tipos de plásticos a la vez, es decir se puede contar con sistemas de flotación, por medio de tinas de flotación vibradoras con bandas transportadoras como las que se muestran a continuación. En estas tinas, el PET por tener una mayor densidad cae al fondo y es recogido por un tornillo sinfín que lo transporta a la siguiente etapa. El otro material que flota es recogido por paletas que arrastran desde la superficie el material hacia otra etapa.

⁵¹ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007



Ilustración 8 TAMBORES CON PALETAS PARA FLOTACIÓN DE POLIOLEFINAS⁵²

Limpieza

Los flakes de PET suelen estar contaminados generalmente con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento. Por ese motivo tienen que ser primero limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes.

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



Ilustración 9 PLÁSTICO LAVADO⁵³

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

⁵² FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

⁵³ FUENTE: AUTOR

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

El proceso de limpieza con sosa caustica, es una limpieza alcalina, realizando una solución de 2% de hidróxido de sodio NaOH. Esto indica que por cada litro de agua se agrega 2gr de NaOH. Luego de la limpieza y para que el agua pueda ser desechada, se la neutraliza con ácidos (sulfúricos, clorhídricos) hasta obtener un PH neutro.

Secado

Posterior al ciclo de lavado sigue un proceso de secado el cual debe eliminar el remanente de humedad del material, para que pueda ser procesado. Pueden usarse secadores centrifugados, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo.

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



Ilustración 10 SECADOR CENTRIFUGADOR⁵⁴

Varios otros sistemas como el de procesos simultáneos, los cuales combinan directamente los dos de los anteriormente mencionados. Es decir, sistemas que pueden al mismo tiempo operar como centrífugas con aire en contracorriente.

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

⁵⁴FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007



Ilustración 11 LÍNEA DE LAVADO SECADO CENTRIFUGADO⁵⁵

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

Peletizado

El material molido limpio y seco puede ser ya vendido o puede ser procesado en "pellet". Para esto, el material molido debe introducirse en una extrusora para ser fundida y pasar a través de un cabezal para tomar la forma de espagueti al enfriarse en un baño de agua y luego ser molido.

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



Ilustración 12 EXTRUSORES PARA PET⁵⁶

⁵⁵FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

⁵⁶FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

El proceso de extrusión consiste en someter a presión al material plástico por medio de un tornillo sin fin que se encuentra dentro de un cilindro con calefacción, fundiéndolo por acción de la temperatura que proviene generalmente de resistencias eléctricas y por la fricción del tornillo sin fin denominado husillo, para luego hacerlo pasar a través de una matriz llamada dado (placa con agujeros). Las materias primas se introducen en forma sólida y dentro de la máquina extrusora se funden y se homogenizan. Los pasos a seguir son los siguientes:

Introducción en una máquina extrusora: existen distintas máquinas que se escogerán en función de los productos finales que se quieran conseguir. En principio todas las máquinas constan de unas zonas o partes comunes, que son:

Entrada o alimentación: es la parte por donde se introducen las materias primas secundarias, mezcladas con materias vírgenes si es necesario para su mayor homogenización posterior. En esta zona se calientan las materias y se transportan hacia la siguiente sección.

Zona de sometimiento a presión: es la etapa en la que se produce la fusión del polímero, en ausencia de aire. Dependiendo del polímero que se introduzca tendremos un tipo de fusión distinta (lenta, constante, rápida, etc.) y el interior de la extrusora variará.

Zona de homogenización o dosificación: en este caso se trata de homogeneizar el material que irá entrando en el dado de forma constante.

Dado: es la parte final de la extrusora donde se produce una criba de los materiales que no se hayan fundido, polvo, etc. y a continuación se elimina la tendencia que pueda tener el material a torcerse (porque hasta este momento ha pasado por un tornillo por el que va girando) para que los productos obtenidos no presenten este defecto.

Luego en el proceso de Peletización el material pastoso extraído a través de la boquilla (dado), que es plástico fundido y homogenizado, tiene la forma de un fideo largo. El mismo que mientras pasa a través del orificio, pasa por una tina de enfriamiento para darle consistencia para luego con una cuchilla giratoria cortar el fideo en segmentos cortos. Los pellets se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido en humedad del 0.5 por 100 y se envasan para su transporte hasta su cliente y su posterior procesamiento en nuevos productos.

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

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



Ilustración 13 EQUIPO PARA MONOFILAMENTO⁵⁷

1.4.5.5 Ponderación de las alternativas de reciclado para ser aplicado en la ciudad de Cuenca.

Para desarrollar la ponderación de las alternativas, se basa en las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de reciclados que se mencionan anteriormente.

Los valores de la ponderación son los siguientes:

1 → Alto/Complejo.

2 → Medio.

3 → Bajo/Fácil.

A continuación se explicaran cada uno de los criterios de ponderación.

Contaminación Ambiental: hace referencia qué tan contaminantes son al medio ambiente los diferentes procesos.

Número de Plazas de Empleo: este razonamiento de ponderación, se refiere a qué proceso de reciclado provee más fuentes de trabajo.

⁵⁷ FUENTE: Matías Berho – Matías Pisoni; Recomendaciones para RECICLAR; Metodología-Diseño Industrial;FADU – UBA;Noviembre de 2007

Post Producción (aplicación): este criterio hace referencia a la aplicación de cada uno de los productos que se obtiene después del reciclado y cuál es el de mayor utilidad para la industria.

Costo de Inversiones de Operación y Mantenimiento: estos discernimientos hacen referencia al costo que involucraría realizar cada uno de esos procesos.

Tabla 18 CRITERIOS DE PONDERACIÓN

Criterios de Ponderación	Vp.	<i>R. Químico</i>	Vp	<i>R. Energético</i>	Vp	<i>R. Mecánico</i>	Vp
Contaminación Ambiental.	30	30	1	60	2	90	3
Número de Plazas de Empleo	25	25	1	25	1	75	3
Volumen de Producción	20	20	1	40	2	60	3
Post. Reciclado. (Aplicación)	15	30	2	30	2	45	3
Costo de Inversiones de Operación y Mantenimiento	10	20	2	10	1	30	3
Total	100	125		165		300	

Vp: valor de ponderación, R.: reciclado

Una vez valorizado, analizamos que el valor más alto de la ponderación hace referencia al reciclado mecánico, lo cual nos indica que es el más conveniente para aplicar en una planta de reciclaje, para las condiciones de consumo de plástico del Cantón Cuenca.

1.5 Conclusiones:

La comunidad tienen poco conocimiento sobre lo que es un plástico, de donde y como se obtiene, su clasificación, aplicaciones y cuales son los procesos de transformación para su obtención en diferentes productos, además de las graves consecuencias de la contaminación ambiental que estos producen. Por ello cabe indicar que el plástico puede ser reciclado y reprocesado para favorecer al desarrollo industrial y disminuir el impacto ambiental volviéndose una actividad sustentable en el tiempo para el beneficio de la EMAC y la sociedad.

Con el análisis que se realiza en este capítulo, se puede observar el elevado consumo del PET, el cual se encuentra principalmente en botellas no retornables de agua y bebidas carbonatadas, de manera que se propone a la Empresa Municipal de la ciudad de Cuenca EMAC un sistema de extrusión – peletizado para el reprocesamiento de los residuos que se podrían comercializar como materia prima para la industria en la elaboración de productos secundarios o utilizarlo para generar productos propios con una línea propia de producción.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA – PELETIZADORA DE POLÍMEROS RECICLADOS.

2.1. Introducción

Una vez cuantificados los datos en el capítulo 1 de la cantidad de plástico que genera por desperdicios la ciudad de Cuenca, se analiza una propuesta donde se presenta el dimensionamiento de un sistema de extrusión – peletizado adecuado para el volumen a ser tratado en la empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC, facilitando una alternativa viable y confiable para el reprocesamiento.

2.2. Principio de funcionamiento de una Extrusora-Peletizadora.

El proceso de extrusión, hace referencia a una operación en la que el material una vez fundido es forzado a atravesar por una boquilla para producir un producto de sección constante y de longitud indefinida. Desde la perspectiva del procesamiento de plástico, el proceso de extrusión es uno de los más importantes para la transformación de los mismos.

Durante el proceso de extrusión el material es colocado en una tolva, luego sigue a un cilindro con calefacción por el cual pasa con ayuda del husillo o tornillo de alimentación. En la punta del cilindro de calefacción el material es obligado (la materia prima que se ha calentado y comprimido hasta formar una masa viscosa) a pasar por la boquilla que tiene la forma de la sección a extruir de modo uniforme y a presión constante.



Esquema 17 Procesos de Extrusión⁵⁸

Para esto la máquina extrusora y en concreto la de husillo único, cumple con las siguientes funciones principalmente:

- Transporte del material sólido hacia la zona de fusión.
- Fusión o plastificación del material.
- Transporte de presurización del material fundido.
- Mezclado.
- Desgasificación.
- Conformado.

Debe tenerse en cuenta que no todas las funciones anteriormente anunciadas tiene lugar en todas las extrusoras. Por ejemplo el des gasificado o venteo únicamente se produce en máquinas preparado para ello ya que se ocupa cuando se procesa materiales con demasiada cantidad de componentes volatiles, como por ejemplo: PVC, nylon, etc.

En el trascurso del capítulo se indicara cada uno de las funciones y elementos que componen un sistema de extrusión – peletizado, ya que el propósito del desarrollo de la monografía es plantear de una forma concisa, como se podría reciclar el material plástico que se consume en la ciudad de Cuenca, ya que es perjudicial para el medio ambiente, peletizándolo para volver a ser incluido en la elaboración de productos que puedan ser utilizados de una forma cotidiana, o remplazando otros materiales de similares características.

⁵⁸ FUENTE: AUTOR

Un sistema de peletizado consta de dos sistemas unificados que son: una extrusora y una cortadora giratoria, las cuales al trabajar en conjunto se obtiene pellets.

Extrusora –Peletizadora: Para que el proceso de extrusión se realice, es necesario aplicar presión al material fundido, obligándolo a pasar de modo uniforme y constante a través de la matriz, atendiendo a estos requerimientos, las máquinas extrusoras se clasifican en: extrusora de desplazamiento positivo y extrusoras de fricción.

Extrusoras de desplazamiento Positivo: en este tipo de máquinas se obtiene la acción de transporte mediante el desplazamiento de un elemento de la propia extrusora. En la matriz la reología del material tiene mayor influencia sobre el proceso de extrusión.

Extrusora de pistón (Inyectora): en este tipo de máquinas un pistón el cual puede ser accionados medio hidráulico o mecánico, fuerza al material a pasar por una matriz.

Extrusoras de fricción: En estas máquinas la acción de transporte es conseguida aprovechándose las características físicas del material y la fricción de este con los elementos de la máquina, donde ocurre la transformación de energía mecánica a energía calorífica que ayuda a la fusión del material. La reología del material tiene influencia sobre todo el proceso.

Existen otros tipos de extrusoras como las multi tornillo que, poseen más de un tornillo. Entre estas las más importantes son las de dos tornillos, dentro de las cuales existe gran variedad dependiendo de si los tornillos tienen giro contrario (lo más corriente ya que generan mayor fuerza de cizalla) o paralelo, y del grado de interpenetración entre los mismos. En la figura que se encuentra a continuación se muestran algunas variables posibles. Entre las ventajas que presentan se incluye una buena capacidad de mezclado y desgasificación, y un buen control del tiempo de residencia y de su distribución. Algunas desventajas de estas extrusoras son su precio, superan al de las de tornillo único en el hecho de que sus prestaciones son difíciles de predecir.

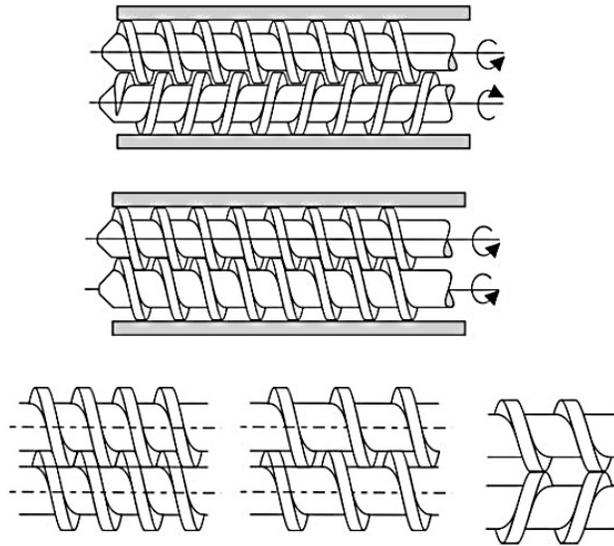


Ilustración 14 Disposición posible de los husillos en las extrusoras de doble husillo; giro contrario y giro en paralelo; diferentes grados de interpretación de los tornillos.⁵⁹

2.2.1 COMPONENTES DE UNA EXTRUSORA

La extrusora de husillo, (extrusoras continuas), se encuentran constituidas por uno o múltiples tornillos, según los requerimientos propios del proceso. A continuación se describe los principales componentes de una extrusora.

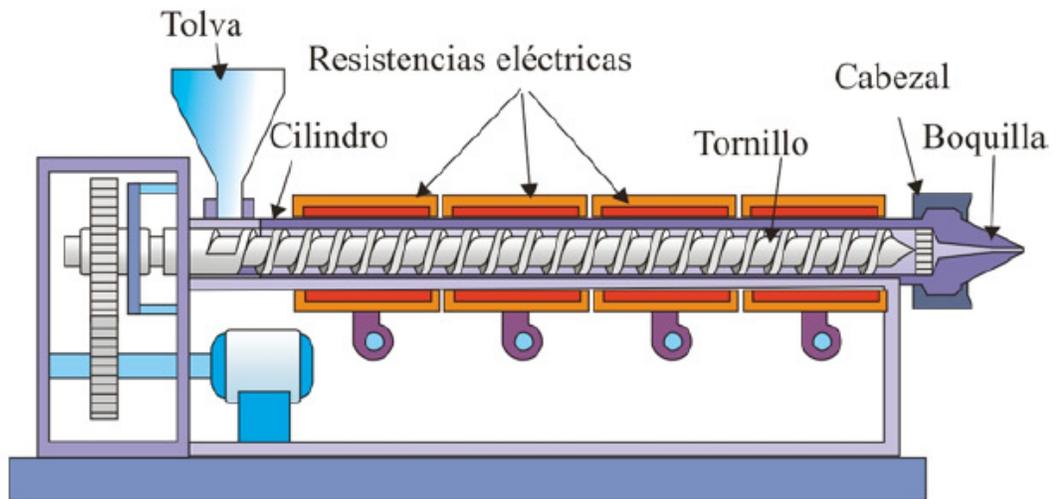


Ilustración 15 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA EXTRUSORA DE HUSILLO SENCILLO.⁶⁰

⁵⁹ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

⁶⁰ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

2.2.1.1 Tolva de alimentación:

La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Aunque muy sencillo su diseño, este resulta de suma importancia; la tolva es el componente de la línea de extrusión de mayor simpleza pero no por esto su diseño debe menospreciarse; tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material, esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular ya que ejercen una compresión gradual sobre el material (ver figura a continuación). La tolva se diseña con un volumen que permita albergar material para 2 horas de trabajo.

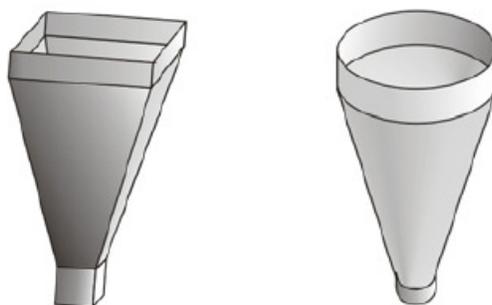


Ilustración 16 TIPOS DE TOLVAS⁶¹

El transporte de sólidos en la tolva es, en general el flujo por gravedad de las partículas; el material se mueve hacia la parte inferior de la tolva por acción de su propio peso. Se puede dar flujo en masa en el cual no hay estancamiento, y todo el material se mueve hacia la salida, o bien flujo tipo embudo en el que el material más cercano a las paredes queda estancado. El más preferido es el flujo en masa. En materiales que tienen flujo deficiente pueden quedar estancados en la garganta de entrada de la extrusora dando un problema denominado formación de puente o arco.

⁶¹ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

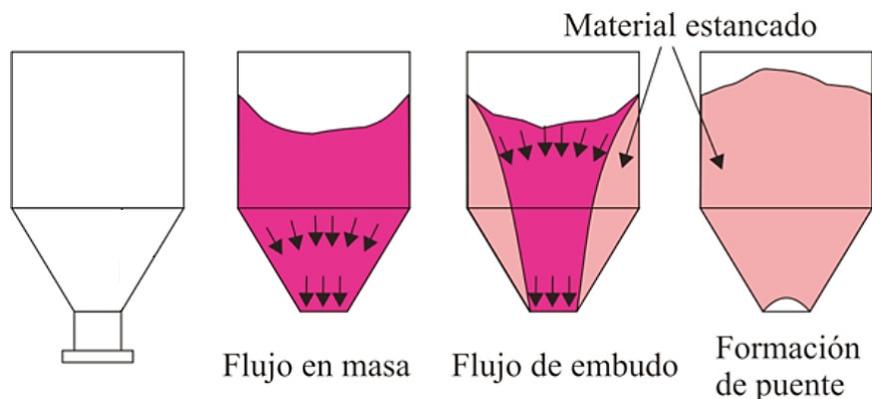


Ilustración 17 FLUJO DE MATERIAL EN UNA TOLVA DE ALIMENTACIÓN.⁶²

Las características que influyen en la dosificación del material dentro de la tolva son:

Coefficiente de fricción: para que haya un flujo adecuado dentro de la tolva es necesario que los coeficientes de fricción del material sean bajos, en caso de no serlo se deben emplear lubricantes.

Distribución del tamaño de partícula de la granza (DTP): para que el flujo sea continuo y no presente problemas en la alimentación hacia el cilindro, es necesario que el material sea lo más uniforme tanto en tamaño como en forma.

Existen cuatro formas básicas de sistemas de alimentación para extrusoras de tornillo único, las mismas son:

Flood feed: es el sistema más común para la alimentación del plástico, el material premezclado (con masterbatch, tintes, protección UV, etc.), es colocado dentro de la tolva, permitiendo que el material sea alimentado hacia el extrusor por acción de la gravedad y el tornillo de alimentación. En sistemas especiales como en la inyección de tipo sánduche, la máquina extrusora cuenta con más de una tolva para que en cada una de ellas sea colocado un material diferente para el proceso. Con este sistema la eficiencia está determinada por la velocidad de tornillo extrusor.

⁶² FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

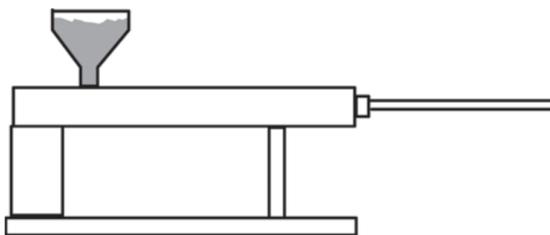


Ilustración 18 SISTEMA FLOOD-FEED⁶³

Starve feed: es un sistema que es utilizado en extrusores de tornillos gemelos, pero también puede ser utilizado en extrusores de tornillo simple. Este sistema evita la pre mezcla de material ya que cada alimentador dosifica la cantidad adecuada directamente sobre el tornillo extrusor, los cuales se encargan de la mezcla durante el proceso. Con este sistema la eficiencia está determinada por la tasa de alimentación de los alimentadores en lugar de la velocidad de tornillo extrusor. También este sistema evita el taponamiento que genera el sistema de alimentación anterior, sobre todo cuando el material a procesar es un plástico reciclado.

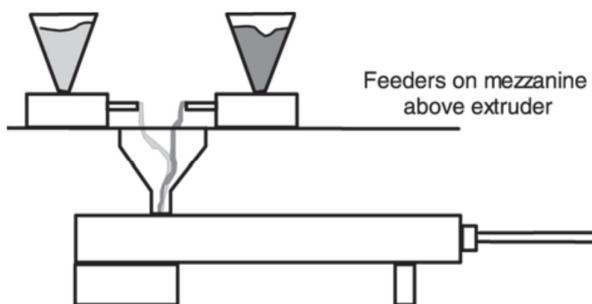


Ilustración 19 SISTEMA STARVE-FEED⁶⁴

Crammer: En ocasiones para asegurar el flujo constante del material, se usan dispositivos de vibración, agitadores e incluso tornillos del tipo del que se muestra en la figura. El sistema Crammer es utilizado sobre todo para la alimentación de plásticos de baja densidad y materiales duros de alimentar (PET, PP, etc.), los cuales taponan la garganta, evitando que el flujo sea constante. La eficiencia de extrusión aumenta significativamente con la ayuda del sistema Crammer, pero hay que tomar en consideración que el flujo de alimentación debe ser igual o inferior al del tornillo de extrusión.

⁶³ FUENTE: HAROLD F. GILES, JR.; Extrusión; William Andrew Publishing; Estados Unidos de Norte América; 2005

⁶⁴ FUENTE: HAROLD F. GILES, JR.; Extrusión; William Andrew Publishing; Estados Unidos de Norte América; 2005

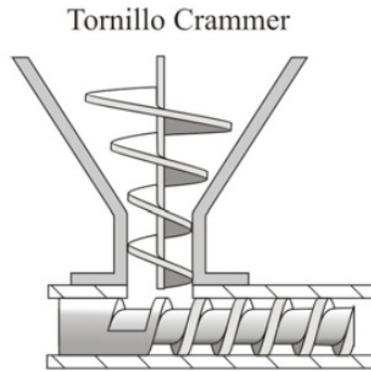


Ilustración 20 SISTEMA CRAMMER⁶⁵

Melt feed: este es un sistema tipo bomba, la cual genera una mezcla de polímero a temperatura y presión uniforme. El material pre extruido ingresa a la extrusora para su procesamiento final.

Una alimentación inapropiada puede ocasionar una disminución en la productividad de la línea, generadas por inestabilidades en el flujo. Generalmente el volumen de la tolva debe ser proporcional a la capacidad de producción de la extrusora.

Existen otras tolvas con sistemas de secado que son usadas para eliminar la humedad del material que va a ser procesado. En sistemas de extrusión más automatizados, se cuenta con medios neumáticos o mecánicos de transporte de material desde contenedores hasta la tolva. Como medidas de prevención existen imanes o magnetos para la retención de materiales ferrosos, que puedan dañar el tornillo y otras partes internas de la extrusora.

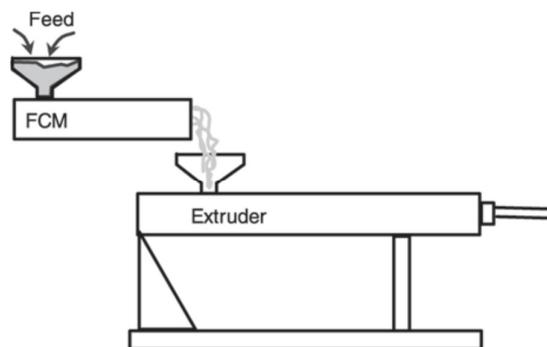


Ilustración 21 SISTEMA MELT-FEED⁶⁶

Como regla practica el diámetro de la salida de la tolva suele tener un ancho equivalente al diámetro del husillo, y un largo de 1.5 a 2 veces el diámetro.

⁶⁵ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

⁶⁶ FUENTE: HAROLD F. GILES, JR.; *Extrusión*; William Andrew Publishing; Estados Unidos de Norte América; 2005

2.2.1.2 Garganta de Alimentación:

Suele estar provista de un sistema de refrigeración para mantener la temperatura de esta zona lo más baja, para que el material no se adhiera en las paredes internas del cilindro.

La garganta de alimentación esta entrelazada con la tova a través de una entrada de alimentación. Esta boquilla de alimentación suele tener una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces del mismo, y suele estar desplazada con respecto al eje del tornillo para facilitar la entrada del material.

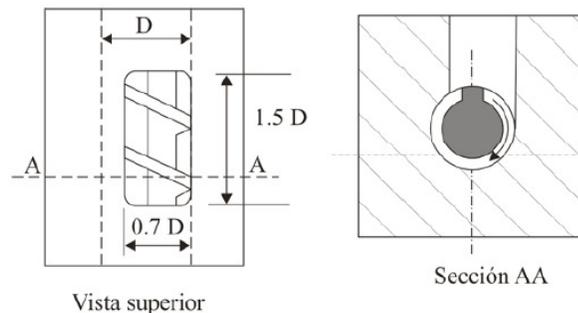


Ilustración 22 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN⁶⁷

2.2.1.3 El Tornillo de extrusión:

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal.

El husillo de la extrusora puede ser considerado como el componente principal de la extrusora, ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir, mezclar a la temperatura adecuada y con una total homogeneidad la materia prima.

La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo, Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete (Θ) y el paso de la rosca (w).

⁶⁷ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich; 2004

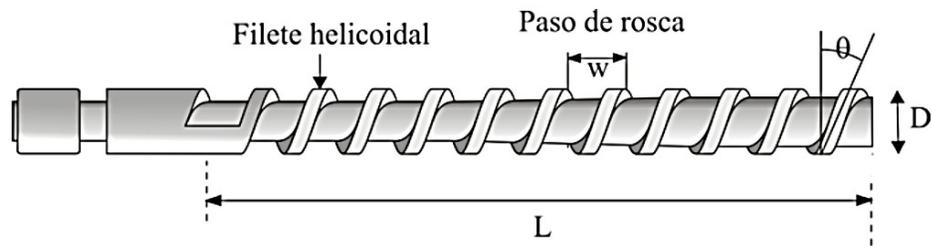


Ilustración 23 TORNILLO DE UNA EXTRUSORA⁶⁸

Tanto la producción como la aplicación de la extrusora dependen del diámetro del husillo, de la relación de su longitud al diámetro ($L: D$), de la velocidad de giro y de las particularidades geométricas del canal helicoidal, perfil del vértice de los filetes y del cabezal, existencia de refrigeración, número de zonas, etc.

Generalmente, para la transformación de plásticos se emplean extrusoras con husillo de 9 a 580 mm y una relación $L: D = (6 \div 40):1$, es más corriente sin embargo una relación $L: D = (20 \div 25):1$.

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida del huelgo anular entre la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro. Cuando el huelgo es grande, el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso de material. Dicho huelgo no debe sobrepasar de 0.1mm.

Tanto o más importancia que el diámetro y el huelgo anular tiene la longitud del husillo, o mejor la relación $L: D$. Al aumentar la longitud del husillo, aumenta el efecto del calor sobre el material, la velocidad de giro y la producción de la extrusora, aumentando al mismo tiempo la potencia del accionamiento.

Para cumplir esta función, los tornillos presentan una gran variedad de diseños, con características específicas en función del tipo de material a procesar y del tipo de operación a realizar con el material (preparación de materiales, mezclas, extrusión de perfiles). No obstante, todo diseño de tornillo precisa de 3 partes básicas:

Zona de alimentación

Zona de transición

Zona de dosificación

⁶⁸ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

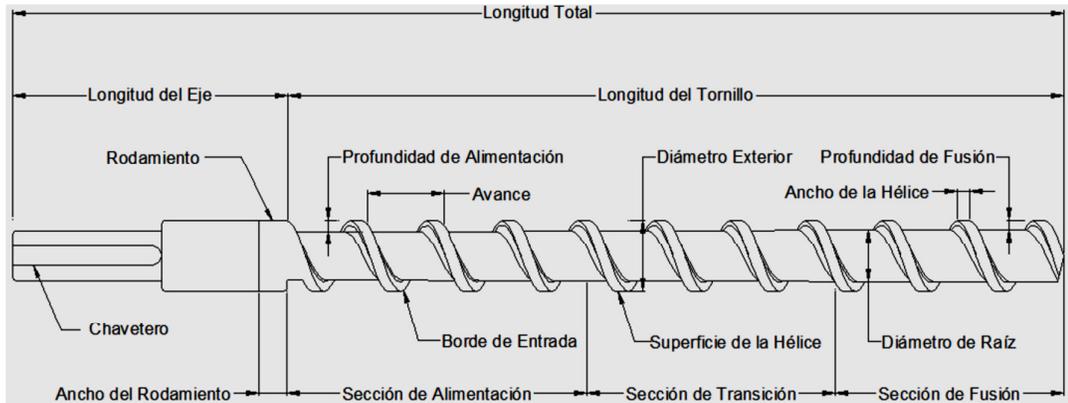


Ilustración 24 PARTES BÁSICAS DE UN TORNILLO

La zona de alimentación: tiene por objeto el calentamiento del material hasta su temperatura de fusión y su transporte hacia la sección siguiente, buscando maximizar la alimentación del material a la extrusora y con ello la productividad, el diseño de los husillos de extrusión presenta en la zona de transporte la mayor profundidad del canal (mayor volumen).

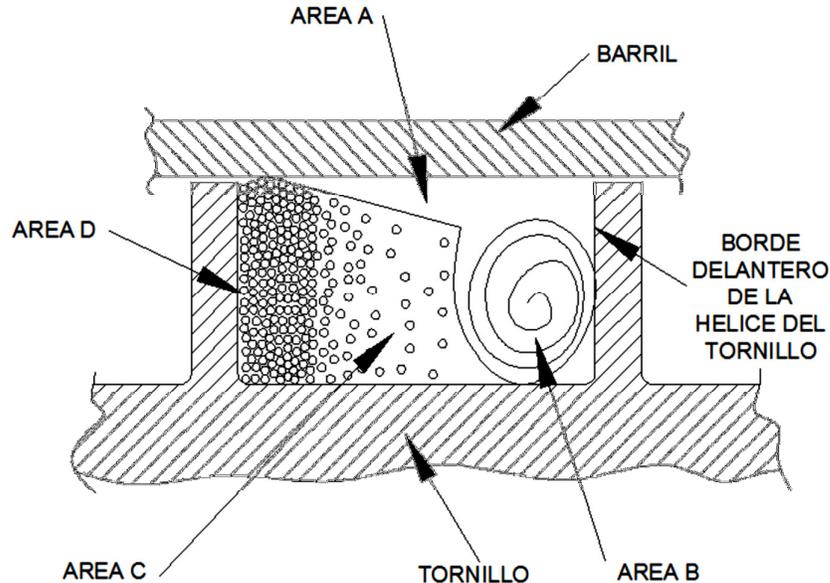


Ilustración 25: ESQUEMA DEL PROCESO DE FUSIÓN DEL PLÁSTICO EN EL TORNILLO⁶⁹

⁶⁹FUENTE: ANONIMO, *Proceso de extrusión de plástico*.

En esta zona del husillo de preferencia el husillo debe estar completamente liso (pulido), para garantizar la adhesión del material a la superficie del cilindro y no al tornillo, permitiendo así un transporte de material más eficiente. En medida que el material avanza en la zona de alimentación, comienza a ser compactado y calentado. Dos mecanismos son responsables de este calentamiento 1) la fricción del material con la superficie de la máquina. 2) La conducción de calor desde las bandas de calentamiento del cilindro

Los factores más influyentes que afectan el transporte de los gránulos en la zona de alimentación son:

- a) Profundidad del canal.
- b) Grado de fricción entre gránulos-tornillo y entre gránulos-cilindro.
- c) Angulo de la hélice.

a) *Profundidad del canal.*

La profundidad del canal es una característica importante en relación con la producción y con la calidad del fundido. La zona de alimentación es básicamente un transportador, por lo que cuanto más profundo sea el canal, mayor será el volumen transportado y, por lo tanto, será mayor la producción. Sin embargo hay otras consideraciones a tener en cuenta al elegir la profundidad del canal. En la zona de dosificación, una de esas consideraciones es la velocidad de corte. Todos los materiales tienen una velocidad de corte máxima, por encima de la cual se degradan. Cuanto más sensible sea al calor dicho material, más bajo es la velocidad de corte permisible.

Es preferible disminuir la velocidad de corte a base de aumentar la profundidad del canal, en lugar de disminuir la velocidad de giro del tornillo. No obstante, no hay que olvidar que si se aumenta la profundidad del canal, se aumenta la componente negativa del flujo inverso. Los canales profundos significan relativamente poca circulación dentro del mismo, resultando una mayor variación de la temperatura y menor homogeneidad del fundido. En general, cuanto más profundo es el canal, más rápido es el decremento en la producción por el marcado aumento en el flujo de presión.

b) *Grado de fricción entre gránulos-tornillo y entre gránulos-cilindro.*

Si el coeficiente de fricción entre los gránulos de plástico y el tornillo y entre el plástico y el cilindro fueran idénticos, no habría flujo de material y giraría éste como un aro dentro de los canales del cilindro. Para que se mueva hacia adelante, el material debe pegarse más al cilindro que al tornillo. Es el mismo principio que apretar una tuerca y un tornillo. Si la tuerca gira sin sujetar el tornillo, no habrá movimiento relativo. Este se dará sólo cuando se sujete uno de los dos. Obviamente, cuanto mayor sea la diferencia de fricción entre el plástico fundido y el cilindro, mayor será la producción.

Generalmente, la zona de alimentación tiene una profundidad de canal constante. Debido a la fricción el tornillo siempre está más pulido que el cilindro y, de forma normal, la temperatura del cilindro es mayor que la del tornillo. En consecuencia, el material se adhiere al cilindro cuando se reblandece y resbala sobre el tornillo, más frío. Luego, el material se compacta y empieza a fundirse en la zona de transición. En la mayoría de los tornillos con zona de dosificación, la zona de alimentación tiene una longitud de aproximadamente la mitad de la longitud total.

c) *Angulo de la hélice.*

El ángulo de la hélice afecta el transporte y la eficiencia del mezclado del material en el canal. La experiencia ha demostrado que una hélice que avanza una vuelta por cada diámetro nominal del tornillo da excelentes resultados. Los tornillos suelen tener una anchura de canal constante (tornillos con paso cuadrado), lo cual da como resultado un ángulo de hélice de 17.7 grados, mismo que se ha adoptado universalmente.

En el diseño del tornillo de una extrusora, el ángulo de la hélice “cuadrado”, es el parámetro respetable. Prácticamente todos los tornillos se hacen de esta manera, las necesidades que también puede haber son un ángulo pronunciado para resistir la contrapresión y un ángulo bajo para suavizar el trayecto del flujo directo.

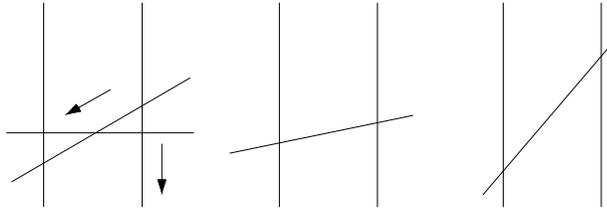


Ilustración 26 ANGULO DE HÉLICE ESCARPADO CONTRA EL DE POCA PROFUNDIDAD: EL ÁNGULO ESCARPADO RESISTE AL FLUJO INVERSO; EL ÁNGULO DE POCA PROFUNDIDAD PROPORCIONA UNA RUTA MENOS TORTUOSA AL FLUJO DIRECTO.⁷⁰

La zona de transición o compensación o zona de fusión: aprovecha el cambio de la sección del canal para provocar la compresión del material (del orden de 2 a 4 veces más que la zona de alimentación) e impedir que el material no fundido pase a la zona de dosificación. Debido a que durante la fusión del material se produce un incremento de su densidad aparente, (producto de la reducción de los intersticios entre partículas sólidas presentes), en la zona de fusión el husillo presenta una progresiva reducción del canal.

En una extrusora bien operada se desea que la zona de fusión sea lo más corta posible, ello reducirá el consumo de energía, permitirá un buen mezclado y evitara la presencia de sólidos en la boquilla. Una vez que la masa del material se encuentra 100% en estado pastoso o fundido, pasa a la zona de dosificación o bombeo.

La fusión se iniciara como consecuencia del calor conducido desde la superficie del cilindro, generando una gran cantidad de calor por fricción, de modo que, en ocasiones, es posible iniciar la fusión sin necesidad de aplicar calor externo.

Sin embargo aparecerá una fina capa de material fundido junto al cilindro, que irá creciendo hasta que su espesor se iguale con la tolerancia radial entre el cilindro y el filete del tornillo, mientras que el resto del material se encontrará formando un lecho sólido. El polímero fundido en la película será barrido por el filete que avanza, separándose así del cilindro hacia una zona situada delante del filete que avanza en la parte posterior del canal.

⁷⁰ FUENTE: MORTON - JONES; *Procesamiento de plásticos*; Limusa, S.A.; Mexico DF, Página 116

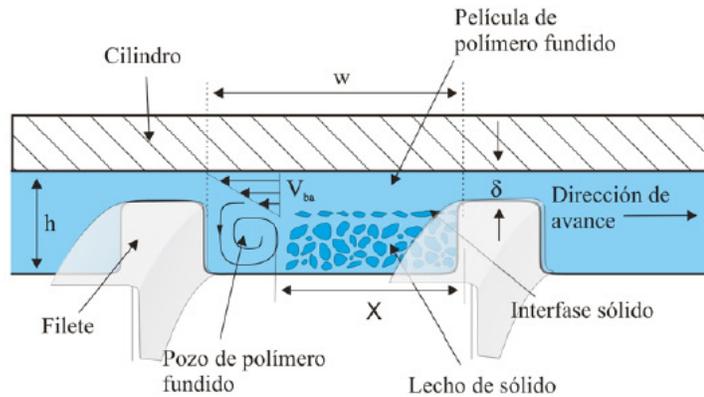


Ilustración 25 CORTE TRANSVERSAL DE LA EXTRUSORA EN LA ZONA DE TRANSICIÓN.

La longitud de fusión que es la longitud de tornillo desde que comienza la fusión hasta que esta termina.

Se deben tener en cuenta las siguientes características en la eficiencia de la fusión del material, en esta zona:

- Un canal más profundo transporta más material, pero tarda más en completar la fusión.
- Una operación rápida aumenta la producción, pero, los sólidos persisten a lo largo del tornillo al terminar la operación.
- Un canal menos profundo puede ayudar a una operación rápida para aumentar la producción debido a una fusión más efectiva, pero el peligro está en que el alto esfuerzo de corte que resulta puede conducir a un sobrecalentamiento.
- La mezcla mejora la fusión por la simple agitación del material.

Para obtener un ángulo óptimo de hélice, deben apreciarse las siguientes consideraciones:

- El ángulo escarpado resiste al flujo de presión de retroceso.
- El ángulo de poca profundidad proporciona una ruta menos tortuosa al flujo de arrastre.

La zona de dosificación: La zona de dosificación inicia en el punto en el que finaliza la fusión, es decir, en el punto en que todo el material se a fundido, o en caso contrario el aire se eliminaría con mucha dificultad y podría quedar atrapado en el material, de hecho, la profundidad del canal es uniforme en esta zona. La zona de dosificado actua como una bomba

en la que el movimiento del polímero fundido hacia la salida de la extrusora se produce como el resultado del giro del tornillo y de la configuración helicoidal del mismo.

Además esta zona es la encargada de garantizar un buen mezclado, homogenizar el material fundido y conseguir el caudal uniforme y la presión necesaria para que la masa fundida pueda atravesar las restricciones del cabezal y la boquilla, a una velocidad constante en la salida del cilindro.

El husillo debe tener la longitud y el diámetro suficiente para poder acomodar las zonas de alimentación, compresión (fusión) y dosificación de modo que la masa fundida se encuentre en las condiciones requeridas para su extrusión a través del dado. Sin embargo, otras especificaciones del husillo como: ángulo de hélice, profundidad y ancho del canal, también son importantes.

Se debe especificar una diferencia significativa entre los husillo de extrusión de perfiles y los husillos de preparación y mezcla de materiales (tornillo tipo torpedo o plastificadores). Los primeros están preparados para generar la presión necesaria para vencer la resistencia que la matriz o dado opone a la salida del material, mientras que los segundos están diseñados para generar el máximo caudal de salida, con una homogeneidad adecuada, no produciendo apenas trabajo mecánico.

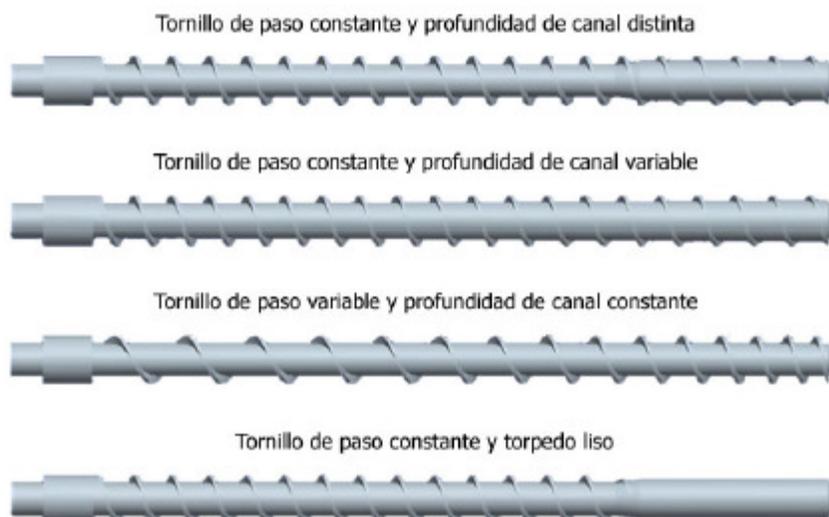


Ilustración 26 TIPOS DE TORNILLOS PLASTIFICADORES⁷¹

⁷¹ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

En aquellos casos en los que el material presenta gran cantidad de gases/vapores durante el proceso de extrusión (humedad, disolventes, gases absorbidos), o por materiales que retienen gran cantidad de componentes volátiles y en materiales hidrocópicos, como en el caso de las poliamidas y también en materiales que presentan humedades de equilibrio muy elevadas se hace necesaria la extracción de los mismos antes de que salga el material por la boquilla.

Para esto, se emplean los tornillos con cilindro de desgasificación o los tornillos con desgasificación, que disponen de dos zonas a continuación de la de dosificación para facilitar la salida de los gases una vez que el material ha sido comprimido (zona de desgasificación y zona de mezclado y bombeo)

Debemos conciderar el desgasificado en que antes de introducirlos es posible secarlos pero también suelen desgasificarlos directamente en la extrusora, de manera mucho mas rápida.

El desgasificado se produce a traves de un orificio de venteo práctico sobre el cilindro. Las extrusoras con zona de desgasificado deben tener un diseño especial del tornilo, que asegure que la presión en esa zona coincida con la presión atmosférica, de forma que el material no tienda a escapar por el orificio de venteo. El material fundido y desgasificado se vuelve a comprimir en una nueva zona de transición. Como muestra la figura.

Estos tornillos deben tener un diseño adecuado, de modo que la zona de eliminación de volátiles este siempre parcialmente lleno y el material no se salga por el orificio de venteo. Además la capacidad de bombeo de la segunda sección del tronillo (despues del orificio de venteo) debe ser superior a la primera.

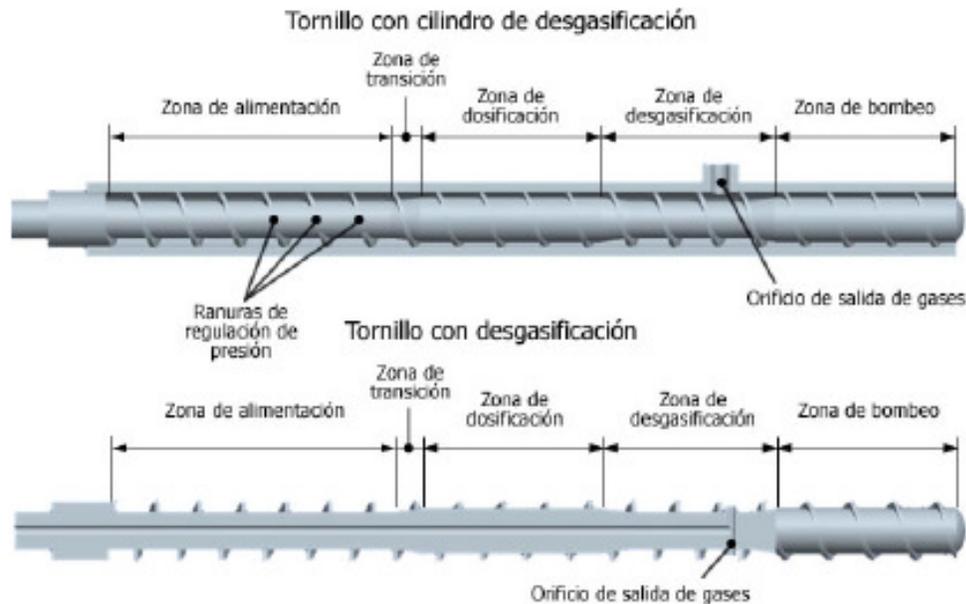


Ilustración 27 SISTEMAS DE DESGASIFICACIÓN⁷²

Para evitar problemas por falta de homogeneidad del material que llega a la boquilla se puede introducir una sección de mezclado. Esto es esencialmente importante en las extrusoras grandes y en las que se emplean para fabricar láminas finas. El mezclado se conseguirá haciendo pasar el material por varias zonas que lo obliguen a reorientarse. Las secciones de mezclado son simplemente tramos del tornillo dentro de la zona de dosificación que tiene una configuración especial para este propósito.

Las secciones de mezclado deben cumplir los siguientes requisitos:

- **Caida de Presión:** Provocar una mínima caída de presión, de modo que la zona de mezclado afecte lo menos posible al caudal de material extruido.
- **Flujo aerodinámico:** Evitar zonas muertas donde el material pudiera quedar estancado. Osea la facilidad que presente la sección para que aveces el flujo de una manera continua y dinámica. Generando el mínimo de contra flujo en el husillo. Otros mezcladores tienen obstáculos en el canal del tornillo para cambiar la dirección del flujo del polímero y para lograr la mezcla necesaria.
- **Barrido:** barrer la superficie del cilindro completamente, para que el polímero no se adiera a la superficie del mismo para evitar cizalladura entre capas de polímero que se presentan en diferentes zonas.

⁷² FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

- **Factibles:** Ser fáciles de instalar, poner en marcha y limpiar. Facilidad de mantenimiento.
- **Taza de mecanizado:** se refiere al factor económico para su adquisición y recambio.
- **Deformación de Corte:** la relación de movimiento de una capa del polímero con relación a otra, sabiendo que se requiere altas tasas de corte y altas tensiones de corte que consiguen forzar la fusión sobre una barrera restrictiva. Ya que en algunos mezcladores requieren más energía por la oposición que estos presentan, lo que puede elevar la temperatura del polímero y su posterior degradación
- **División/reorientación:** Una vez que el material entra en la sección de mezcla, el flujo se divide de un canal grande a fluir en numerosos pequeños canales o frentes de flujo, que se vuelven a recombinar teniendo presente su orientación inicial, para evitar turbulencia en el mismo. Se puede crear diferentes direcciones y distribuciones colocando obstáculos en el canal del tornillo que nos sirve para lograr la mezcla necesaria.

A continuación se muestran diferentes tipos de mezcladores.

Mezclador de aguja: Como se puede ver en la Ilustración 32, los pines se colocan comúnmente de manera radial en el husillo, pero pueden ser colocados de formas diferentes. Los pines evitan el flujo laminar y mejoran la mezcla. En comparación con otros dispositivos de mezclado, los pines son fáciles de colocar, de hecho pueden ser colocados después de haber usado el husillo y notar que necesita mezclar más; aunque hay que tomar en cuenta deben estar templados y bien ajustados para evitar que se desprendan. En conclusión, la ventaja es que son muy sencillos, económicos y fácil de instalar.

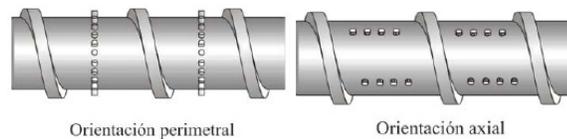


Ilustración 28 MEZCLADORES DE TIPO AGUJA CON ORIENTACIÓN DE LAS AGUJAS PERIMETRAL Y AXIAL⁷³

Mezclador de anillo: consiste en un anillo sobre el tornillo dejando una sección de paso pequeña. Lo que el material debe fluir por este paso, con lo que es sometido a altas cizallas durante un tiempo corto. Son efectivos y fácil de construir pero causa una caída de presión relativamente alto, y no tiene capacidad de empujar el material hacia adelante.

⁷³FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

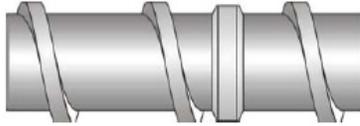


Ilustración 29 MEZCLADOR DE ANILLO⁷⁴

Mezclador con filetes desiguales: son tipo Saxton. En estos mezcladores la profundidad de los filetes es variable, con lo que se obliga al material a que se divida y reoriente continuamente, resultando una buena mezcla. Además ayudan al bombeo hacia adelante.

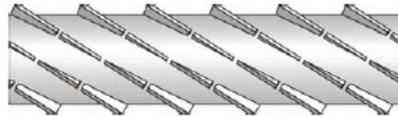


Ilustración 30 ZONA DE MEZCLADO CON FILETES DESIGUALES TIPO "SAXTON"⁷⁵

Mezcladores tipo Dulmage: consiste en una serie de cortes semicirculares que forman una hélice, en la misma dirección del filete del husillo. Tienen una altura uniforme, para un mezclado tipo zorro. Con esto se obliga al material a pasar por una sección pequeña, la caída de presión no son altas ya que la inclinación de los filetes secundarios favorece el bombeo del material. Por lo general tiene 3 o más secciones interrumpidas por pequeños cortes cilíndricos lo que interrumpe el flujo laminar y provoca una buena mezcla.

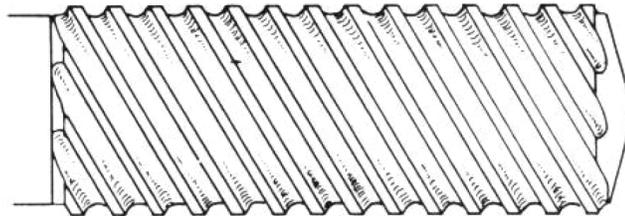


Ilustración 36 MEZCLADOR TIPO DULMAGE⁷⁶

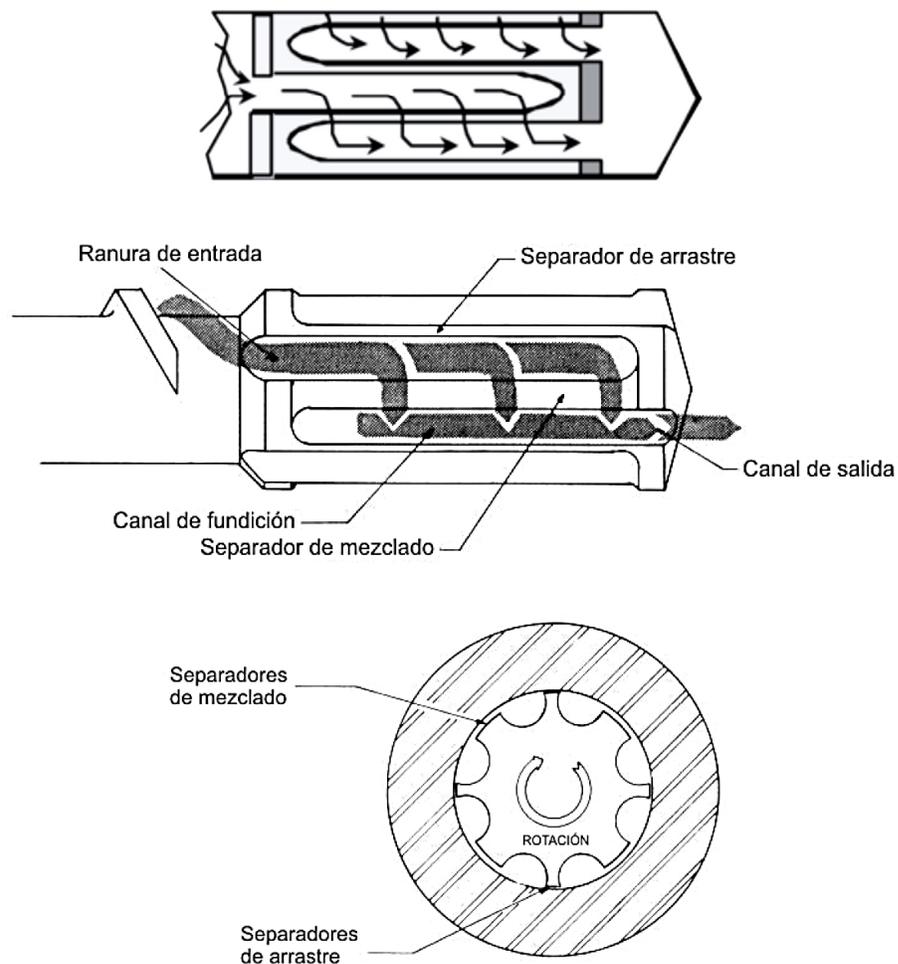
Mezclador tipo Maddock: este mezclador consiste en una serie de ranuras circulares opuestas que van alineadas en el eje del husillo. Como se puede ver en la figura que esta a continuación, este dispositivo tiene dos tipos de ranuras, una que esta abierta hacia la entrada de plástico, la otra esta abierta hacia la salida. También existen dos tipos de separaciones, que van alternadas, el separador de arrastre empuja el material hacia la separación de mezclado; la separación de mezclado que como su nombre lo dice realiza la función de mezclar y

⁷⁴FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

⁷⁵FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

⁷⁶FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

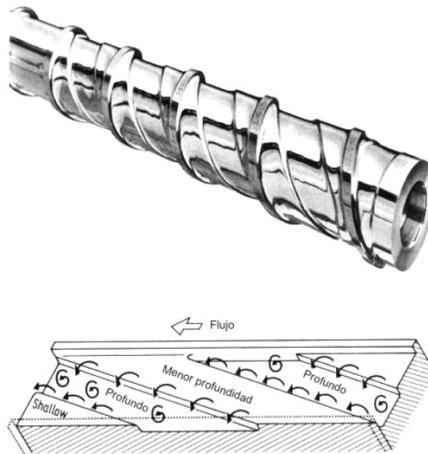
desaparecer el material sin funfir. Este mezclador es colado al final del husillo. Es ampliamente usado para procesar polipropileno y polietileno.



Ilustracion 37 MEZCLADOR TIPO MADDOCK⁷⁷

Mezclador tipo Pulsante: En este mezclador, la sección de dosificación es dividida en secciones con cambios costantes. Estas secciones son mas profundas y mas elevadas que el promedio de la zana de dosificación. Cada vez que el plastico cambia de una sección a otra, se hace una especie de masaje lo cual evita el flujo turbulento, hace una mezcla, distribución y función uniforme.

⁷⁷ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004



Ilustracion 38 MEZCLADOR TIPO PULSANTE⁷⁸

A continuación se va a realizar una tabla de valoración, para el escogitamiento del mezclador que fuese necesario para procesar el plástico reciclado. Esta tabla de valoración se va a realizar en relación a los requisitos que se mencionaron anteriormente, que deben cumplir los mezcladores.

Los valores para la ponderación son los siguientes:

1 → Alto/Complejo.

3 → Medio.

5 → Fácil.

<i>Mezcladores</i>	<i>Caída de presión</i>	<i>Flujo Dinámico</i>	<i>Barrido</i>	<i>Factibilidad</i>	<i>Taza de mecanizado</i>	<i>Deformación de Corte</i>	<i>División / reorientación</i>	<i>Total</i>
<i>Aguja</i>	3	3	1	5	5	3	3	23
<i>Anillo</i>	1	3	5	1	3	5	5	23
<i>Saxton</i>	3	5	3	1	1	3	5	21
<i>Dulmage</i>	3	3	3	1	1	3	5	19
<i>Maddock</i>	3	5	5	5	3	3	3	27
<i>Pulsante</i>	5	3	1	1	3	3	5	21

⁷⁸ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

Una vez valorados cada uno de los mezcladores, determinamos que el mezclador tipo Maddock, presenta las mejores condiciones requeridas para el proceso de reciclado de plástico, en caso que fuese necesario una mejor homogenización del material, ya sea por tener plásticos de diferentes colores o en caso se quiera procesar un plástico con pigmento se recomienda utilizar un tornillo de extrusión con un mezclador Maddock.

2.2.1.4 Barril o Cilindro:

El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo como se muestra en la figura, que junto con el husillo de extrusión son el mecanismo de transporte del material inducido por arrastre, conformando la cámara de fusión y bombeo de la extrusora.

La superficie del cilindro debe ser bien rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportara el material y permitir así que este fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo, ya que este es mucho más fácil de reemplazar. En el diseño de los cilindros de extrusión se busca:

- Máxima durabilidad.
- Alta transferencia de calor.
- Mínimo cambio dimensional con la temperatura.

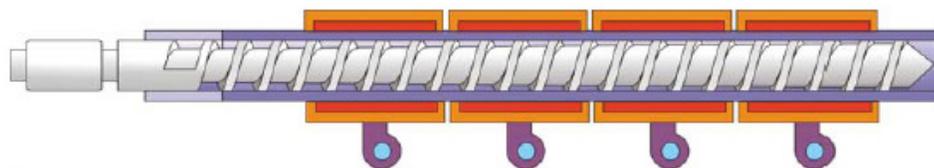


Ilustración 31 SISTEMA CILINDRO DE CALEFACCIÓN – TORNILLO⁷⁹

Sistema de calefacción y enfriamiento del cilindro: el cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento del cilindro se realiza casi y exclusivamente por resistencias eléctricas, las mismas que pueden ser circulares localizadas en toda la longitud como se muestra en la figura anterior, y también aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente de cada una

⁷⁹ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

de ellas, lo que permite conseguir una gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.

El cilindro debe refrigerarse por la generación interna de calor originada por la cizalladora que se somete al plástico ya que rebasa la temperatura nominal del proceso (lo que ocurre normalmente). El enfriamiento en la menor parte de las ocasiones se hace por medio de un líquido, ya que aunque tenga una mayor capacidad para eliminar el calor que el aire, la temperatura es más difícil de controlar. Normalmente se ocupa sistemas soplantes como muestra la figura anterior. Los ventiladores entran en operación cuando la temperatura de la zona supera el punto prefijado. Hay que tener en cuenta que los sensores de control de temperatura quedan situados en el cilindro, por lo que la temperatura del material será siempre superior a la indican los controles, por efecto de:

- La transferencia excesiva de calor por parte de la resistencia (Por ejemplo: durante el arranque de la máquina)
- La generación excesiva de calor por parte de los elementos de mezclado presentes en el husillo de la extrusora.

La temperatura de extrusión solo puede ser controlada de manera precisa mediante la acción combinada de las bandas de calefacción eléctrica y los ventiladores de cada zona.

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida de la holgura entre la cresta y el filete del husillo y la superficie interior del cilindro. Cuando la holgura es grande, el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso del material. Generalmente suele emplearse husillos de diámetro constante, manteniendo una holgura entre el husillo y el cilindro de $0,002D$

2.2.1.5 Motor:

El motor de la extrusora es el componente responsable de suministrar la energía necesaria para producir; la alimentación del material, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte, mezclado y bombeo a través del cabezal hacia la boquilla. Los motores son eléctricos, estos operan con voltajes de 220 y 440V. El movimiento como la potencia del motor se transporta al husillo por correas (bandas o fajas), o engranes las cuales transmiten el movimiento a un reductor.

El motor suele estar conectado a un Variador de Frecuencia que tiene como función controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC), mediante el control de la frecuencia del voltaje de alimentación suministrado al motor. También indica la tensión y corriente eléctrica instantáneas alimentadas al motor, con lo cual se puede calcular la potencia consumida en el proceso.⁸⁰

2.2.1.6 Cabezal de extrusión:

Los principales componentes de un cabezal para la extrusión son: plato rompedor y filtro, cabezal o boquilla.

2.2.1.7 Plato rompedor y filtro:

El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un cilindro plano delgado con agujeros como muestra la ilustración 32. Constituye junto con el filtro el punto de transición entre la extrusora y el dado. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extruido. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo (memoria molecular) en espiral que el husillo imparte, además ayuda a aumentar la presión del material fundido.

El propósito también del plato es servir de soporte a un paquete de filtros cuyo fin es apartar las partículas y/o grumos contaminantes provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc. para que no salgan con el producto extruido.

Los filtros además mejoran el mezclado y homogenizan el fluido. Los filtros van apilados adelante del plato rompedor, primero se sitúan los de la malla más ancha reduciéndose el tamaño de la malla progresivamente, y finalmente el plato rompedor que soporta los filtros. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas en acero inoxidable puesto que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas.

Conforme se ensucian las mallas es necesario sustituir para evitar la caída de presión excesiva y que disminuya la producción. Por esa razón el diseño del plato debe ser tal que pueda ser remplazado con facilidad.

⁸⁰FUENTE: PROTOCOLO CURSO DE MATERIALES: *LAMINACION*, Facultad de Ingeniería Industrial- Laboratorio de Producción: Edición 2008-2

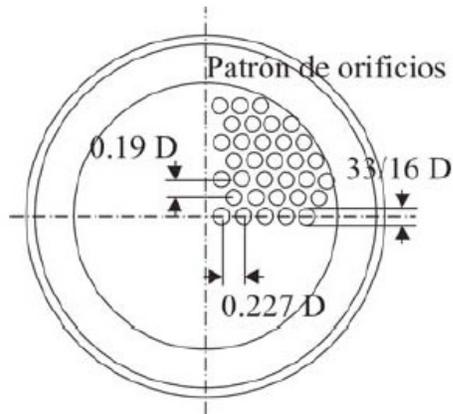


Ilustración 32 PLATO ROMPEDOR⁸¹

2.2.1.8 Cabezal y Boquilla:

El cabezal es el elemento ubicado al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla y por lo general manteniendo al plato rompedor. Generalmente va atornillado al cilindro. El perfil interno debe facilitar lo más posible el flujo del material hacia la boquilla. La figura muestra un sistema de cabezal boquilla de forma anular. En la figura el material fluye del cilindro a la boquilla a través del torpedo, situado en el cabezal. La sección transversal de los soportes del torpedo se diseña para proporcionar el flujo de material a velocidad constante.

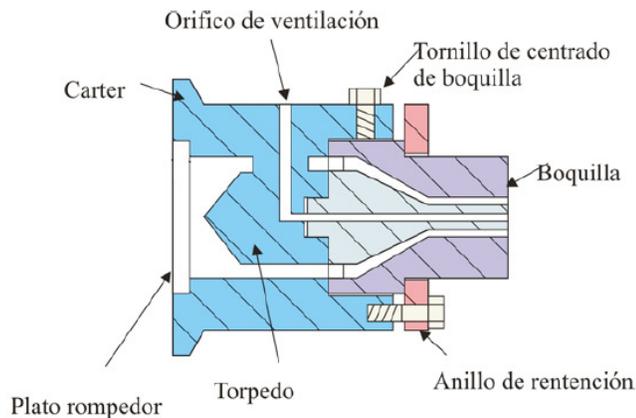


Ilustración 33 CABEZAL⁸²

⁸¹ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich;2004

⁸² FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

La función de la boquilla es de darle la forma final al plástico. Las boquillas se clasifican por la forma, por ejemplo boquilla anular para la fabricación de tuberías o recubrimientos de material cilíndricos.

Sección de la zona de sujeción del torpedo

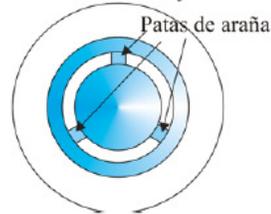


Ilustración 34 BOQUILLA ANULAR⁸³

También se tiene boquillas planas como muestra la figura, con las que se pueden producir planchas o láminas de plástico, y también boquillas circulares con las cuales podemos obtener fibras y productos de sección cilíndrica.

Se puede distinguir tres partes diferenciadas en todas las boquillas como muestra la figura (corte de boquilla plana): la cual muestra en la primera parte el canal de entrada, a continuación el distribuidor y a continuación la zona de salida

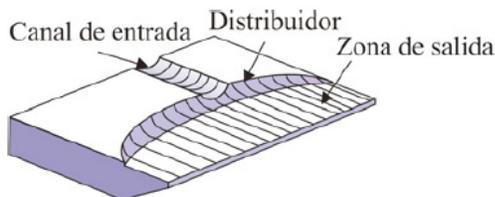


Ilustración 35 PARTE DIFERENCIAL EN UNA BOQUILLA DE EXTRUSIÓN.⁸⁴

Las dimensiones de la boquilla no son exactamente las mismas que del producto producido. Hay varias razones para ello: la recogida del material, el enfriamiento y el fenómeno de relajación contribuyen a que el material extruido cambie de tamaño e incluso de forma.

Considerando los valores de Q_{max} y p_{max} a lo largo de los ejes del diagrama conocidos como características del extrusor (o características del tornillo o husillo). Esto define la relación entre la presión estática y la velocidad de flujo en una máquina de extrusión con los parámetros operativos establecidos.

⁸³ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

⁸⁴ FUENTE: ROSATTO, ROSATTO, DIMOTTA; *Blow Molding Handbook*; Carl Hanser Verlag; Munich; 2004

Con un dado o cabeza en la máquina y el proceso de extrusión en operación, los valores actuales de Q y p se localizarán en algún lugar entre los valores extremos, la localización está determinada por las características del dado o cabeza. La velocidad de flujo a través del dado depende del tamaño y la forma de la abertura, y de la presión aplicada para forzar la fusión a través de dicho dado.

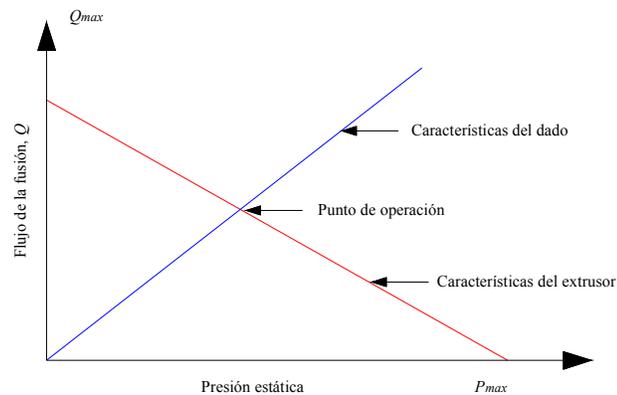


Ilustración CARACTERÍSTICAS DEL EXTRUSOR Y CARACTERÍSTICAS DEL DADO⁸⁵

La relación entre Q y p se llama característica del dado. En la figura, ésta se dibuja como una línea recta, añadida a las características previas del extrusor. Los dos trazos se intersecan; los valores correspondientes de Q y p se conocen como punto de operación para el proceso de extrusión.

Excepto para la boquilla de forma circular, es complejo construir una boquilla en la que la forma geométrica del canal sea tal que la boquilla puede ser empleada para un número amplio de materiales y de condiciones de operaciones.

El diseño de la boquilla se debe tomar en cuenta en la medida de lo posible una serie de consideraciones como son: emplear radios amplios en todas las esquinas, evitar canales estrechos o pequeños y partes profundas.

2.2.1.9 Peletizadora

Una vez que salen los hilos hacia el cortador (Peletizadora), los hilos que entran a la Peletizadora son mantenidos por guías laterales, de tal manera que al entrar en la zona de alimentación, no pueden evadir el proceso de corte. El rodillo paralelo de alimentación

⁸⁵ FUENTE: MORTON - JONES; *Procesamiento de plásticos*; Limusa, S.A.; Mexico DF, Página 125

superior y los rieles laterales de maquinados con gran precisión, aseguran que los hilos que entren a la zona de corte, tengan las especificaciones requeridas.



Ilustración 36 PELETIZADORA⁸⁶

Las guías para los hilos y el canal de alimentación están diseñados de tal manera que los hilos “abracen” el rodillo de alimentación inferior.

Este diseño en combinación con el rodillo paralelo de alimentación superior, otorgan una fuerza de halado excepcional sobre los hilos usando una presión mínima de aire, y extendiendo de esta manera la vida útil del dicho rodillo.

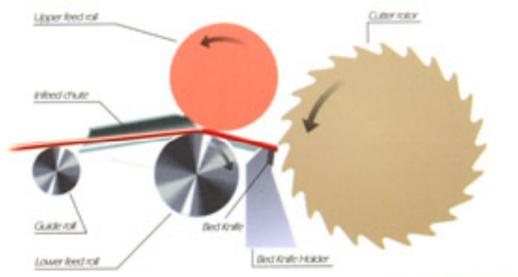


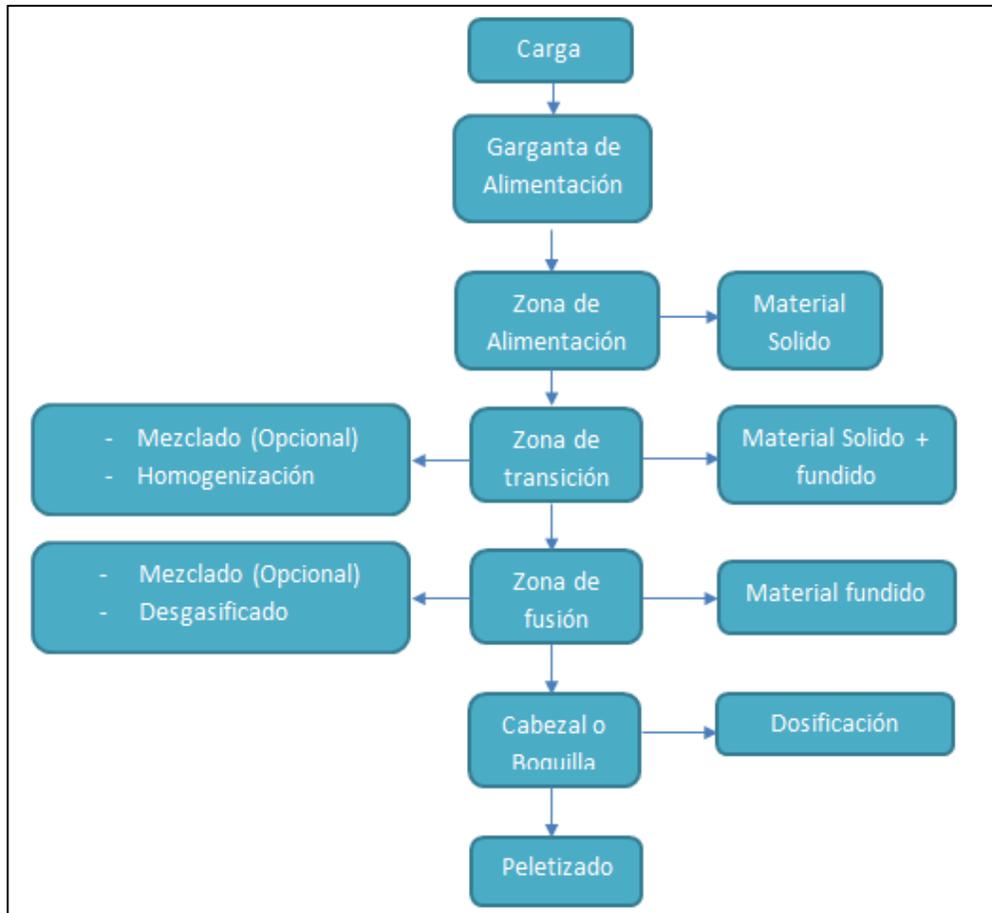
Ilustración 37 SISTEMA PELETIZADOR⁸⁷

2.2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para el funcionamiento de una extrusora le dividimos en funciones que realiza una extrusora: Transporte de sólido, fusión, transporte de fundido, mezclado, desgasificado, conformado.

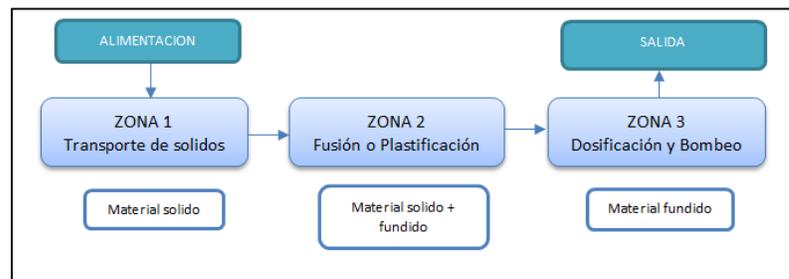
⁸⁶ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.

⁸⁷ FUENTE: M. BELTRAN y A. MARCILLA; *Tecnología de los Polímeros*.



Esquema 18 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA EXTRUSORA⁸⁸

En conclusión: un sistema de extrusión-peletizado consiste en una máquina de extrusión, que puede ser de uno o varios husillos, tolva con su correspondiente mezcladora y motor eléctrico, dispositivos para enfriar y cortar los granulos. El material extruido se enfría en el baño de agua, a continuación se seca y se vuelve a enfriar con un ventilador y se corta en granulos por medio de unas cuchillas giratorias accionada por un motor.



Esquema 19 DIAGRAMA DE SISTEMA EXTRUSIÓN-PELETIZADO⁸⁹

⁸⁸ FUENTE: AUTOR

2.3 Dimensionamiento.

2.3.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE AGUJEROS DE LA MALLA DE EXTRUSIÓN.

Para la determinación del número de agujeros para extruir, el volumen que necesita producir, se va a dividir para la sección del agujero.

Los datos que se encuentran a continuación, son los datos del caudal de producción que se estableció en el capítulo uno, y la velocidad de producción es un valor impuesto basado en capacidad de producción.

La tasa de salida o descarga (v), es la velocidad a la cual el plástico se moviliza a través de la extrusora. Generalmente los rangos van desde unos pocos kilogramos hasta más de 5 toneladas por hora y en extrusoras de tornillo doble con rango de diámetros entre 14 y 300 mm (0.55 y 12 pulg.) es posible obtener tasas de salida desde unos pocos kilogramos hasta al menos 30 toneladas por hora.

Datos:

$$\text{Caudal volumétrico a procesar} = 4.61 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 46100 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Diámetro del hilo es = 4mm

Velocidad de producción = 90mm/seg.

2.3.1.1 Cálculo de la sección del agujero:

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi 2^2$$

$$A = 12.56 \text{ mm}^2$$

2.3.1.2 Cálculo de la velocidad de producción con un hilo extruido:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$46100 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{46100 \text{ mm}^3/\text{s}}{12.56 \text{ mm}^2}$$

$$V = 3670.38 \text{ mm}/\text{s}$$

⁸⁹ FUENTE: AUTOR

Dividiendo la velocidad calculada para la producción de un hilo para la velocidad impuesta para la producción nos da:

2.3.1.3 Cálculo del número de hilos de la malla de extrusión:

$$\#hilos = \frac{\text{velocidad de un solo hilo}}{\text{Velocidad de producción}}$$

$$\#hilos = \frac{33670.38 \text{ mm/s}}{90 \text{ mm/s}}$$

$$\#hilos = 40.77 \approx 41 \text{ hilos o agujeros}$$

2.3.2 CALCULO DEL TORNILLO.

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

Características del PET y RPET.⁹⁰

<i>Propiedades</i>	<i>PET Virgen</i>	<i>RPET</i>
Módulo de Young [MPa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [MPa]	47	24
Elongación a la rotura [%]	3,2	110
Resistencia al impacto [J m-1]	12	20
IV (dl g-1)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión (°C)	244 - 254	247 - 253
Peso molecular (g mol-1)	81600	58400
Densidad kg/m3	860	860
Poder calorífica J/kg*grado	1200 -1350	1200 -1350

⁹⁰ FUENTE: Polymer Recycling, Recycling of PET. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

Producción del tornillo: La producción expresada como flujo volumétrico (Q), es el resultado de tres tipos diferentes de flujo. El flujo de arrastre (a), es el componente mayor provocado por el giro del tornillo. El flujo de presión (b), es el componente que se opone al flujo en el sistema y el flujo de filtración (g), el cual reduce la producción por pérdidas de material entre las holguras del tornillo-barril. Por lo tanto, la producción en la zona de dosificación es equivalente a la producción total del tornillo. En la Ilustración 20 se muestra un esquema de los perfiles para las distribuciones de velocidad de flujo.

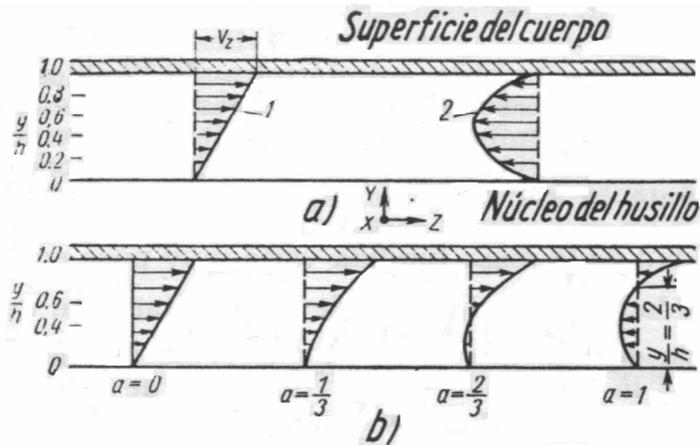


Ilustración 38 DIAGRAMA DE VELOCIDADES DE FLUJO DIRIGIDO A LO LARGO DE LA CABA DEL CANAL HELICOIDAL: A) FLUJO DIRECTO E INVERSO; B) FLUJO RESULTANTE.⁹¹

El flujo volumétrico Q se puede determinar con la siguiente expresión:

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K + \beta + \gamma} \right) n \quad (92)$$

Dónde:

α : Flujo de arrastre.

β : Flujo de presión.

γ : Flujo de filtración.

k : Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora.

2.3.2.1 Coeficiente de arrastre α :

$$\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi}{2} \quad (93)$$

⁹¹FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 6

⁹²FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 13 <Ecuación

54>

⁹³FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 7 <Ecuación

17>

Dónde:

D : Diámetro del tornillo.

h : Profundidad del canal en la zona de bombeo.

φ : Ángulo de la hélice.

$\cos\varphi$: Función trigonometría del coseno del ángulo.

e : Ancho de la cresta del filete.

m : Número de entradas.

2.3.2.2 Coeficiente de Presión (Flujo inverso) β :

$$\beta = \frac{mh^3\left(\frac{t}{m}-e\right)\text{sen}\varphi\cdot\text{cos}\varphi}{12L} \quad (94)$$

Dónde:

L = Longitud del husillo.

2.3.2.3 Coeficiente de flujo de fugas (Despreciable en tornillos nuevos) γ :

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \cdot \tan\varphi}{10eL} \quad (95)$$

Dónde:

φ = Angulo de la hélice.

δ = holgura.

$\tan\varphi$: Función trigonométrica tangente del ángulo φ .

2.3.2.4 Constante total del Cabezal (K):

Para determinar la constante K (coeficiente de la forma geométrica) el cabezal se divide convencionalmente en sucesivas zonas de diferente configuración, estableciendo para cada una de estas zonas la constante K_i .

Tipo de Canal	Formula	Nomenclatura
Para canal cilíndrico	$k_1 = \frac{\pi * d^4}{128 * L}$	d : Diámetro del canal del dado. L : Longitud del canal.
Para malla filtrante	$k_2 = \frac{\pi * n * d_0^4}{128 * b}$	n : cantidad de orificios. d_0 :diámetro de orificios de la malla

18> ⁹⁴FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 7<Ecuación

22> ⁹⁵FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 7<Ecuación

Para canal cónico con el diámetro menor en la salida del material.	$k_3 = \frac{3\pi * d_0^3 * d_1^3}{128L(d_0^2 + d_0d_1 + d_1^2)}$	d_0 : Diámetro de entrada del material en un canal anular cilíndrico. d_1 : Diámetro de salida del material en un canal anular cilíndrico.
Para canal anular cilíndrico	$k_4 = \frac{\pi}{8L} \left[R_e^4 - R_i^4 - \frac{(R_e^2 - R_i^2)}{2.3lg \frac{R_e}{R_i}} \right]$	Re: radio exterior. Ri: radio interior
Para un canal anular cónico	$k_5 = \frac{\pi(R_0\delta_2 - R_1\delta_1)}{6Lm}$ $m = \frac{2.03(R_0 - R_1)^2}{(R_0\delta_2 - R_1\delta_1)^2} * lg \frac{R_0\delta_2}{R_1\delta_1} - \frac{(R_0 - R_1)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_0\delta_2 - R_1\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2(\delta_1^2\delta_2^2)}$	R_0 : Radio medio entrada. R_1 : Radio medio salida. δ_1 : Ancho de la rendija en la entrada. δ_2 : Ancho de la rendija en la salida. m: Coeficiente.
Para canal de rendija con sección rectangular y trapezoidal.	$k_6 = \frac{bh^3}{12L}$ $k_7 = \frac{b_1h_1^2h_2^2}{6L(h_1 + h_2)}$	b: longitud de la rendija h: ancho de la rendija h_1 : ancho de la rendija en la entrada h_2 : ancho de la rendija en la salida
Canal de sección transversal cualquiera	$k_8 = \frac{F^3}{2L_1P}$	F: sección transversal de la canal P: perímetro de la sección L_1 : longitud de la canal
La constante común de la cabeza perfiladora	$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}}$	

2.3.3 DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS:

Para la transformación de plásticos, generalmente, se utiliza tornillos de una sola etapa con paso constante y profundidad de canal variable, compuesto de tres zonas de alimentación, de compresión y dosificación.

Para el cálculo se tomará en consideración los siguientes criterios para el dimensionamiento del tornillo de extrusión, basados en investigaciones ya realizadas:

El caudal que se desea producir, que corresponde a 8.58t semanales, a los cuales se les dota un 25% más, obteniendo los 10.725t semanales, los cuales equivale a 243.23kg/h.

Estudios desarrollados recientemente en extrusión de PET reciclado, realizado por la empresa Unión (de Europa) posee una relación L/D de 38 y varias etapas de venteo, esto para alimentar el material sin ser cristalino y seco, ahorrando los procesos necesarios para secar el PET que requiere un contenido de humedad menor a 20ppm muy por debajo de otros materiales.⁹⁶ En nuestro caso como el proceso peletizado ya consta con un proceso de secado previo al ingreso al extrusor, la relación con la que se calculara el tornillo es de L/D = 30.

El ángulo del tornillo para el procesamiento de PET, depende de \hat{w} , como se expresa en la tabla siguiente:

Tabla Angulo de hélice óptimo e índice de comportamiento del flujo.⁹⁷

φ optimo (°)				
Polímero	N	$\hat{w} = 0$	$\hat{w} = 0.1$	$\hat{w} = 0.2$
PMMA, ABS	0,25	18	33	50
PS, PVC	0,3	20	32	46
Polipropileno	0,35	21	32	44
HDPE	0,5	24	32	41
PET	0,6	26	33	41
Policarbonato	0,7	27	33	40
Nylon 6,6	0,75	28	34	40
Fluido Newtoniano	1	30	35	41

Para nuestro cálculo se va a tomar el ángulo de tornillo correspondiente a $\hat{w} = 0.1$ que corresponde a un ángulo de 33°

Las revoluciones por minuto del husillo de extrusión, depende del caudal a producir y de la fricción viscosa, oscila entre las 30 y 50 rpm, se tomara una revolución por minuto de 35 para el desarrollo del cálculo.

Con los criterios expuestos anteriormente, los datos para el cálculo son:

⁹⁶ FUENTE: MALDONADO, M A., MEDINA C, Diseño y Construcción de una Extrusora con capacidad de 1 Kg/h, diseño del proceso y diseño del producto; *Escuela Politécnica del Ejercito.*; Quito Ecuador, 2008, Pagina 177

⁹⁷ FUENTE: MORTON - JONES; *Procesamiento de plásticos*; Limusa, S.A.; México DF, Página 117

$Q = 243.23 \text{ kg/h.}$
 $L/D = 30$
 $\varphi_{\text{optimo}} = 33^\circ$

2.3.3.1 Calculo de Diámetro:

$$\varphi = \frac{\pi * D}{12} \quad (98)$$

Despejando queda:

$$D = \frac{\varphi * 12}{\pi}$$

$$D = \frac{33 * 12}{\pi}$$

$$D = 126 \text{ mm}$$

2.3.3.2 Determinación de L, L1, L2, L3:

L = Longitud total del tornillo.

L1 = Longitud de la zona de Alimentación.

L2 = Longitud de la zona de compresión.

L1 = Longitud de la zona de dosificación.

Sabiendo:

$$\frac{L}{D} = 30$$

$$L = 30 * D$$

$$L = 30 * 126$$

$$L = 3780 \text{ mm}$$

Para la determinación de L1 se tiene:

$$L1 = (4 - 6) * D$$

$$L1 = 6 * 126$$

$$L1 = 756mm$$

Para la determinación de L2 se tiene:

$$L2 = (10 - 14) * D$$

$$L2 = 14 * 126$$

$$L2 = 1764mm$$

Para la determinación de L3 se tiene:

$$L3 = (6 - 10) * D$$

$$L3 = 10 * 126$$

$$L3 = 1260mm$$

2.3.3.3 Determinación de h1:

H1 es la distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del cañón, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido; el polímero entra en forma granular, el material tiene la tendencia a girar pero se lo impide la fuerza de fricción. La profundidad máxima del filete en la zona de alimentación es igual a $0.2 * D$.

Entonces, reemplazando el diámetro previamente calculado se obtiene:

$$2h_1 = 0.2 * D$$

$$h_1 = \frac{0.2 * 126}{2}$$

$$h_1 = 12.6$$

2.3.3.4 Determinación de h3:

Para la determinación de h3, se va a basar en la relación de compresión con el que el PET debe trabajar, el mismo que está indicado en la siguiente tabla:

Tabla 19 RELACIONES DE COMPRESIÓN RECOMENDADAS DEPENDIENDO EL TIPO DE RESINA A PROCESAR.⁹⁹

Examples of Screw Types									
Purpose	Polymer	Depth (mm)			Length (diameters)				Compression ratio ^a
		Feed	Transition	Meter	Feed	Trans	Meter	Total	
High output compounding	LDPE	15	15-6.5 T ^b	6.5	6	12	6	24	2.1:1
General purpose	LDPE	15	15-5.5 T	5.5	4	10	6	20	2.4:1
	HDPE								
	PS								
Film	LDPE	15	15-3.0 S	3.0	10	1	9	20	4.3:1
High output compounding	PP powder	—	15-7.9 T	7.9	—	18	2	20	1.8:1
General purpose	PP	—	15-6.0 T	6.0	—	16	—	16	2.2:1
General purpose	PP	—	12.7-5.6 T	5.6	—	10.9	9.1	20	2.1:1
General purpose	POM	15	15-5.0 T	5.0	4	12	4	20	2.7:1
General purpose	PMMA	15	15-4.0 S	4.0	14	1	5	20	3.3:1
Compounding	Nylon 66	—	11.1-9.6 T/S	2.8	—	12+½	7.5	20	3.6:1
Film	PET	15	15-3.0 S	3.0	14	1	9	24	4.3:1
Film	UPVC	15	15-7.0 T	7.0	4	12	4	20	1.9:1
Low output compounding	UPVC	15	15-9.0 T	9.0	4	7	4	15	1.5:1

Se toma el valor intermedio entre 3-4, entonces:

$$\text{Relación de compresión} = \frac{\text{Profundidad de canal en la alimentación}}{\text{Profundidad de canal en la dosificación}} \quad (100)$$

$$\beta = \frac{h_1}{h_3}$$

$$h_3 = \frac{12.6}{3.5}$$

$$h_3 = 3.6\text{mm}$$

⁹⁹FUENTE: http://www.avipla.org/uploads/ponencias/PROBLEMAS_DE_PRODUCCION_ATRIBUIBLES_AL_CONJUNTO_TORNILLO.pdf

¹⁰⁰FUENTE: http://www.avipla.org/uploads/ponencias/PROBLEMAS_DE_PRODUCCION_ATRIBUIBLES_AL_CONJUNTO_TORNILLO.pdf

2.3.3.5 Cálculo de la anchura del filete (e) y de la anchura de canal (w):

Para este cálculo se basa en la fórmula empírica siguiente:

$$e = (0.06 - 0.1)D \quad (101)$$

$$e = (0.08)126$$

$$e = 10.08mm$$

$$w = (0.8 - 1.2)D$$

$$w = (1)126 \approx 126mm$$

2.3.3.6 Cálculo del constante de forma geométrica

Para el cálculo de las constantes geométricas, se realiza de las formas geométricas que requiere el proceso de peletizado.

Canal con malla filtrante:

$$k_2 = \frac{\pi * n * d_0^4}{128 * b}$$

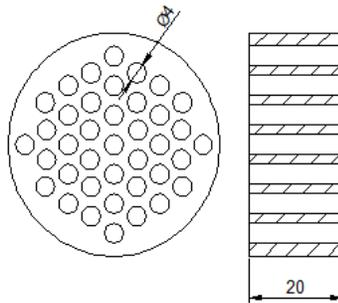
Par el desarrollo del cálculo del canal, primero se determinara el número de agujeros y el diámetro de la malla filtrante, este canal se aplica para romper la memoria molecular del plástico extruido.

Dónde:

$$n = 41 \text{ hilos}$$

$$d_0 = 4$$

$$b = 20$$



$$k_2 = \frac{\pi * 41 * 4^4}{128 * 20}$$

$$k_2 = 12.88mm^3$$

¹⁰¹ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 23<Ecuación 77>

Constante geométrico para Peletizado:

Canal de extrusión de Pellets:

Dónde:

$$n = 41 \text{ hilos}$$

$$d_0 = 4$$

$$b = 200$$

$$k_2 = \frac{\pi * n * d_0^4}{128 * b}$$

$$k_2 = \frac{\pi * 41 * 4^4}{128 * 200}$$

$$k_2 = 1.288 \text{ mm}^3$$

Sumatoria de k (forma geométrica) para Peletizado:

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}} = \frac{1}{\frac{1}{12.88+1.288}} = 1.4168 \text{ mm}^3$$

2.3.4 CÁLCULOS PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN PELETIZADO.

2.3.4.1 Verificación de diseño calculando el caudal a producir para peletizado.

$$Q = \frac{A \operatorname{ctg} \varphi \left(\frac{L_1}{h_1^2} + \frac{L_2}{h_1 h_3} + \frac{L_3}{h_3^2} \right)}{\frac{\varphi}{K} + \operatorname{cosec}^2 \varphi \left[\frac{L_1}{h_1^3} + \frac{L_2(h_1+h_3)}{2h_1^2 h_3} + \frac{L_3}{h_3^3} \right]} \quad (102)$$

$$Q = \frac{2742072,19 \frac{1}{\operatorname{tg} 33^\circ} \left[\frac{756}{12,6^2} + \frac{1764}{(12,6)(3,6)} + \frac{1260}{3,6^2} \right]}{\frac{33^\circ}{1,4168} + \frac{1}{(\operatorname{sen} 33^\circ)^2} \left[\frac{756}{12,6^3} + \frac{1764(12,6+3,6)}{2(12,6)^2(3,6)^2} + \frac{1260}{3,6^3} \right]}$$

$$Q = 4278709,024 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

$$Q = 0,25672 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Transformado a kg/h nos da:

$$Q = \left[0,25672 \frac{m^3}{h} \right] \left[860 \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$Q = 220,781 \frac{kg}{h}$$

Con este caudal determinado hemos verificado que las dimensiones geométricas calculadas para el husillo para procesar PET reciclado, si cumple con el caudal requerido.

A continuación se presenta una tabla con los parámetros geométricos de los husillos de extrusión estándares.

Tabla 20 PARAMETROS GEOMETRICOS DE LOS HUSILLOS, EN MM.

Diámetro D	Paso (t)	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de extrusión, h3	Anchura de la cresta del filete, (e).
32	32	6	1.9	3.8
45	45	8	2.1	5
63	63	9.6	2.4	6.3
90	90	11.2	2.8	9
125	125	13.5	3.2	12
160	160	15	3.7	15

La tabla 21 que se encuentra a continuación, especifica los datos técnicos de extrusoras comerciales de una casa comercial de las mismas, en la cual nos podemos dar cuenta que con los parámetros geométricos calculados anteriormente, si se cumple con el caudal de producción requerido.

Tabla 21 MAQUINAS DE EXTRUSION¹⁰³

Modelo	Doble alimentador de tornillo cónico		Solo tornillo				
	Tornillo de velocidad	Motor	Tornillo DIA	L/D	Tornillo de velocidad	Motor	Salida
	(R.P.M)	(HP)	(MM)	RELACIÓN	(R.P.M)	(HP)	(Kg/ hr)
GDE-40	6~23	1	40	6:1	20~70	5	15~20
GDE-75	5~20	5	75	6:1	17~65	20	70~120
GDE-100	4.5~18	7.5	100	6:1	14~55	30	150~220
GDE-125	4.5~18	7.5	125	6:1	10~45	50	250~350
GDE-150	3.5~14	10	150	6:1	09~40	75	400~600
GDE-180	3.5~14	15	180	6:1	08~35	100	500~700
GDE-200	3~12	20	200	6:1	07~30	125	600~800
GDE-250	3~12	20	250	6:1	06~25	200	800~1000

2.3.4.2 Cálculos de la potencia requerida para peletizado:

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, el trabajo por unidad de tiempo (Potencia = Trabajo / tiempo). La cual puede ser determinada a partir del balance energético de la extrusionadora:

$$N = 32 * E^{-5} * Q * C * (Tm - To)W \quad (104)$$

Capacidad calorífica del PET: 1200 Joule/kg

Dónde:

Q: Caudal.

C: Capacidad calorífica del Material PET

Tm: Temperatura de la masa Fundida en °C.

To: Temperatura del material a la salida de la tolva de carga, en °C.

$$N = 32 * E^{-5} * 220,781 * 1350 * (253 - 20)W$$

$$N = 22222.93w \approx 22.22kW$$

A este valor se le multiplica por un factor de seguridad de 1.25 es igual:

$$N = 22.22kW * 1.3$$

$$N = 28.88kW \approx 38.74HP$$

¹⁰³ FUENTE: GIDING MACHINE, INC. *MAQUINAS EXTRUSORAS*: <http://www.rubber-machinery-b2b.com/es/extruder-machines.html>.

¹⁰⁴ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 15<Ecuación

2.3.4.3 Presiones de la máquina de extrusión para peletizado:

La presión en la máquina de extrusión se genera en la parte delantera del husillo cumpliendo un papel importante en el proceso y en el acabado del material, de igual manera es importante porque de ella se derivan diferentes cálculos para el diseño de dicha máquina.

Presión estática máxima:

Por efecto de cálculos se toma Q igual a cero, s decir no hay flujo de arrastre.

$$P_{max} = \frac{6*\pi*D*L*N*\mu}{h^2*tan\varphi} \quad (105)$$

Dónde:

D: Diámetro del husillo.

L: Longitud del husillo.

N: Potencia.

μ : Viscosidad efectiva.

La viscosidad efectiva depende de la velocidad de cortadura, la cual depende de las mismas formas geométricas del cabezal.

Para K_2 la velocidad de corte es:

$$V_1 = \frac{32*Q}{\pi*d^3} \quad (106)$$

$$V_1 = \frac{32 * 243,23}{\pi * 4^3}$$

$$V_1 = 38.71 \text{ } 1/seg$$

Este valor multiplicamos por el número de agujeros de la malla filtrante, tenemos:

$$V_1 = 38.71 * 41$$

$$V_1 = 1587.1 \text{ } 1/seg$$

¹⁰⁵ FUENTE: MORTON - JONES; *Procesamiento de plásticos*; Limusa, S.A.; México DF, Página 125

¹⁰⁶ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 11<Ecuación 45>

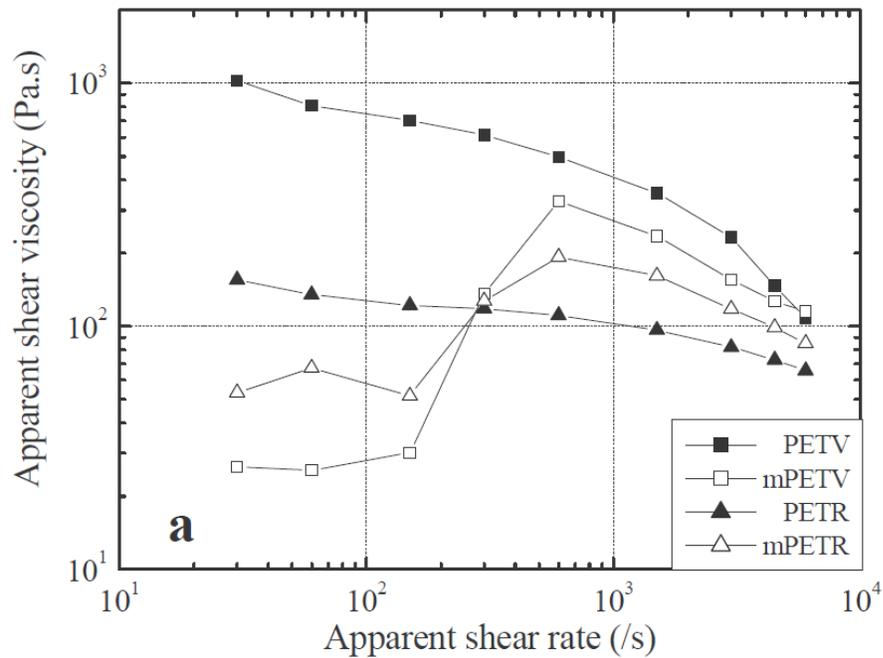
Para K_6 la velocidad de corte es dada por:

$$V_6 = \frac{5.58}{b \cdot h^2} \quad (107)$$

$$V_6 = \frac{5.58}{250 \cdot 25^2}$$

$$V_6 = 3.57E^{-5} \text{ 1/seg}$$

La velocidad cortante total es la sumatoria de las dos previamente calculadas, dando una velocidad de cortadura igual a: 1587.1 1/seg .



Gráfica 6: VELOCIDAD DE CORTADURA VS VISCOSIDAD EFECTIVA A 270°C¹⁰⁸

De la gráfica de velocidad de cortadura vs viscosidad efectiva, tenemos que la viscosidad efectiva es igual a $\mu = 0.9E^{-8} \frac{N \cdot s}{m^2}$

$$P_{max} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 126 \cdot 3.78 \cdot 28.88 \cdot 0.9E^{-8}}{0.0036 \cdot \tan \varphi}$$

¹⁰⁷ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 12 <Ecuación 50>

¹⁰⁸ MONCHAI TAJAN; *Characterisation and Rheological Behavior of Recycled PET Modified by Chain Extending*; Abstract P03

$$P_{max} = 0.998MPa$$

$$P_{max} = 1.1729MPa$$

2.3.6 CÁLCULO DE LA FUERZA DEL HUSILLO:

La misión fundamental de un cálculo de resistencia consiste en comprobar las dimensiones previamente determinadas del husillo y determinar la flecha máxima admisible.

Sobre el husillo actúa la fuerza axial P , el momento de giro Mg y la carga uniformemente repartida q , originada por el propio peso del husillo. La fuerza P y q provocan la flecha f del husillo como se presenta en la ilustración 39.

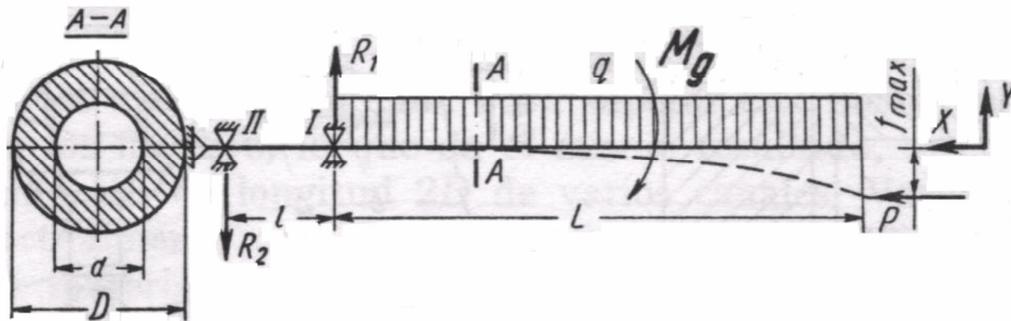


Ilustración 39: DIAGRAMA DE FUERZAS DE UN HUSILLO¹⁰⁹

Como paso inicial para calcular las fuerzas en el husillo se calcula el torque que indica la fuerza aplicada en una palanca para lograr la rotación de un elemento sobre un eje determinado. Al aplicar fuerza en el extremo de una llave se aplica un torque que hace girar el husillo. En términos científicos el torque es la fuerza aplicada multiplicada por el largo de la palanca (Torque = F x D) y la medimos en Newton. Metro. Para nuestro caso aplicaremos la fórmula empírica dada por Savgorodny [8] que involucra una constante (K), cuyo valor en el sistema internacional es $K = 9550 \text{ Newton. Metro}$ y en el sistema inglés es.

$$M_g = 9550 * \frac{N}{\eta} \quad (110)$$

¹⁰⁹V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24

Dónde:

N : Potencia del motor en KW.

η : Número de revoluciones del husillo.

M_g : Torque aplicado al tornillo en (Nm)

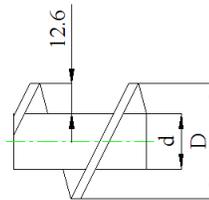
Calculo del torque para el proceso de peletizado

$$M_g = 9550 * \frac{28.88}{35}$$

$$M_g = 7880.11Nm$$

El segundo factor a calcular es μ que es la relación existente entre los diámetros del husillo.

$$\mu = \frac{d}{D} \quad (111)$$



Dónde:

D : diámetro externo del husillo.

$$d = D - 2(h)$$

$$d = 126 - 2(12.6)$$

$$d = 100.8mm \approx 0.1008m$$

$$\mu = \frac{0.1008}{0.126}$$

$$\mu = 0.8$$

El siguiente cálculo involucra la determinación de F que es la superficie transversal del husillo seccionado por A-A como se presenta en la ilustración 39:

¹¹⁰ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24<Ecuación 82>

¹¹¹ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24<Ecuación 87>

$$F = \frac{\pi * D^2}{4} (1 - \mu^2) \quad (112)$$

$$F = \frac{\pi * 0.126^2}{4} (1 - 0.8^2)$$

$$F = 4.488E^{-3} m^2$$

Se calcula el momento de inercia J de la sección transversal A-A de la ilustración 39:

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} (1 - \mu^4) \quad (113)$$

$$J = \frac{\pi * 0.126^4}{64} (1 - 0.8^4)$$

$$J = 7.304E^{-6} m^4$$

El siguiente paso es el cálculo del radio de inercia R_i de la sección:

$$R_i = \sqrt{J/F} \quad (114)$$

$$R_i = \sqrt{7.304E^{-6} / 4.488E^{-3}}$$

$$R_i = 1.6375E^{-3} m$$

La tensión tangencial máxima sobre la superficie del husillo está dada por:

$$\tau = \frac{16 * M_g}{\pi * D^3 * (1 - \mu^4)} \quad (115)$$

$$\tau = \frac{16 * 7880.11}{\pi * 126^3 * (1 - 0.9E^{-8^4})}$$

$$\tau = 0.020062 MPa$$

86> ¹¹² FUNTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24<Ecuación

85> ¹¹³ FUNTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24<Ecuación

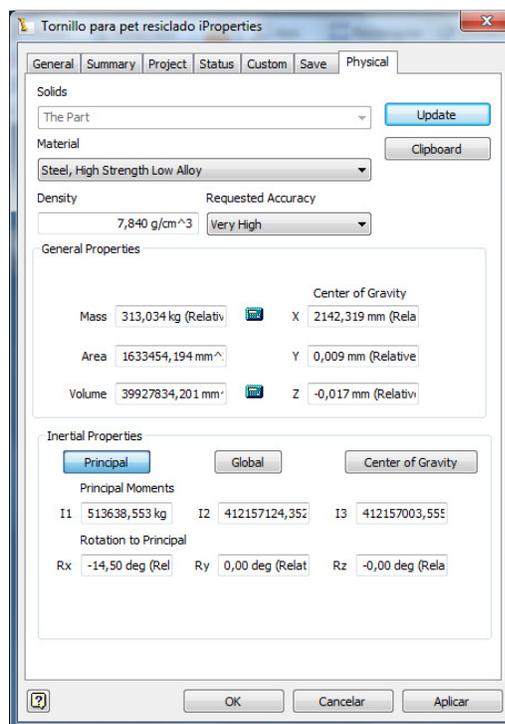
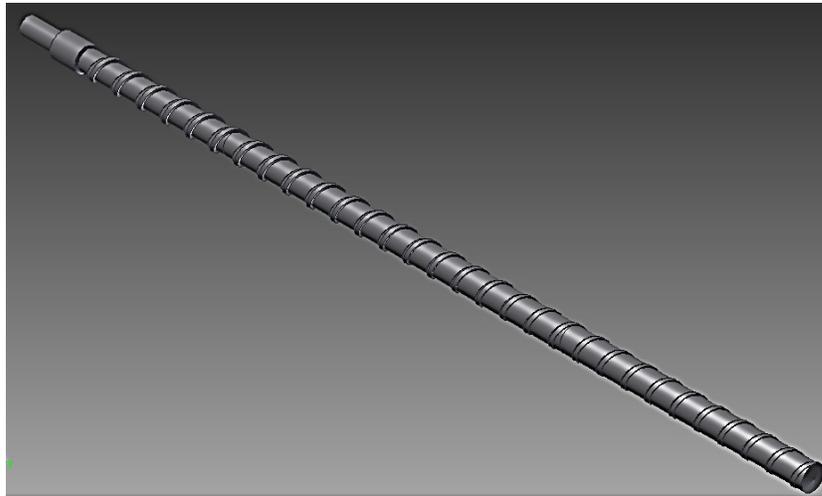
¹¹⁴ FUNTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 24

¹¹⁵ FUNTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 90>

Puesto que las tensiones normales son provocadas por la fuerza axial P y la carga repartida q , las tensiones máximas surgirán en el apoyo del árbol:

$$q = \frac{\text{peso del tornillo}}{\text{longitud del tornillo}}$$

Para el Peso del tornillo se va a valer del apoyo del software Inventor para su determinación:



Una vez determinado el peso procedemos a remplazar los valores en la fórmula:

$$q = \frac{\text{peso del tornillo}}{\text{longitud del tornillo}}$$

$$q = \frac{313.034 \text{ Kg}}{3.78 \text{ m}}$$

$$q = 82.813 \text{ Kg/m}$$

La tensión normal σ está dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_f}{W_0} \quad (116)$$

Dónde:

M_f : Momento de flexión máximo:

$$M_f = \frac{q * L^2}{2} \quad (117)$$

$$M_f = \frac{82.813 * 3.78^2}{2}$$

$$M_f = 591.63 \text{ Kg} * \text{m}$$

Para pasar a N *m, multiplicamos por la gravedad

$$M_f = 591.63 * 9.81$$

$$M_f = 5803.91 \text{ N} * \text{m}$$

El momento de inercia resistente respecto al eje neutro W_0 se puede determinar utilizando la siguiente correlación:

$$W_0 = \frac{\pi * D^3}{32} (1 - \mu^4) \quad (118)$$

¹¹⁶ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 92>

¹¹⁷ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 93>

$$W_0 = \frac{\pi * 0.126^3}{32} (1 - 0.8^4)$$

$$W_0 = 1.159x10^{-4}m^4$$

Remplazando los datos obtenidos en la ecuación 114 de la tensión obtenemos:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_f}{W_0} \quad (119)$$

$$\sigma = \frac{180540N}{4.72x10^{-3}m^2} + \frac{1685.65 N * m}{1.159x10^{-4}m^3}$$

$$\sigma = 52.79 MPa$$

La solidez del husillo aplicando la tercera teoría de resistencia, será:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (120)$$

$$\sigma_r = \sqrt{52.37^2 + 4x34.08^2}$$

$$\sigma_r = 85.95 MPa$$

La flecha máxima del husillo al aplicar la carga repartida se determina a partir de:

$$f_{Max} = \frac{q * L^4}{8 * E * J} \quad (121)$$

Dónde:

E : Módulo de elasticidad del material (Ver Anexo B)

$$f_{Max} = \frac{82.813 * 3.78^4}{8 * 200x10^9 * 7.304E^{-6}}$$

$$f_{Max} = 1.44E^3m$$

$$f_{Max} = 1.44mm$$

¹¹⁸ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 93>

¹¹⁹ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 92>

¹²⁰ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 96>

¹²¹ FUENTE: V.K SAVGORODNY; *Transformación De Plásticos*; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, Página 25<Ecuación 97>

Una vez calculado la flecha máxima se puede concluir que el husillo tendrá una flecha reducida lo que se involucra en una mínima deflexión del mismo.

El mismo cálculo se puede realizar mediante un programa de elementos finitos para lo cual ocuparemos las cargas calculadas en la parte anterior.

2.3.7 TABLA DE RESUMEN:

A continuación se tabula los valores más relevantes requeridos para el proceso de peletizado.

Parámetro	Extrusión peletizado
Relación L/D	30/1
Diámetro [mm]	126
Paso [mm]	126
Anchura de cresta [mm]	10.08
L ₁ zona de alimentación [mm]	756
L ₂ zona de compresión [mm]	1764
L ₃ zona de dosificación [mm]	1260
h ₁ zona de alimentación [mm]	12.6
h ₃ zona de dosificación [mm]	3.6
Caudal de producción [kg/h]	220.781
Potencia del motor [hp]	38.74
Presión máxima del proceso [MPa]	0.998

2.3.8 SIMULACIÓN DEL TORNILLO

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones del tornillo de extrusión de PET, tanto en reposo y en trabajo, realizados por medio de *análisis de esfuerzos mediante el método de elementos finitos utilizando Autodesk Inventor*¹²².

¹²² FUENTE: Ing. J. DE LA CRUZ, Análisis de esfuerzos mediante el método de elementos finitos utilizando Autodesk Inventor, Laboratorio especializado en Análisis, Diseño, y Simulación (L.E.A.D.S.)

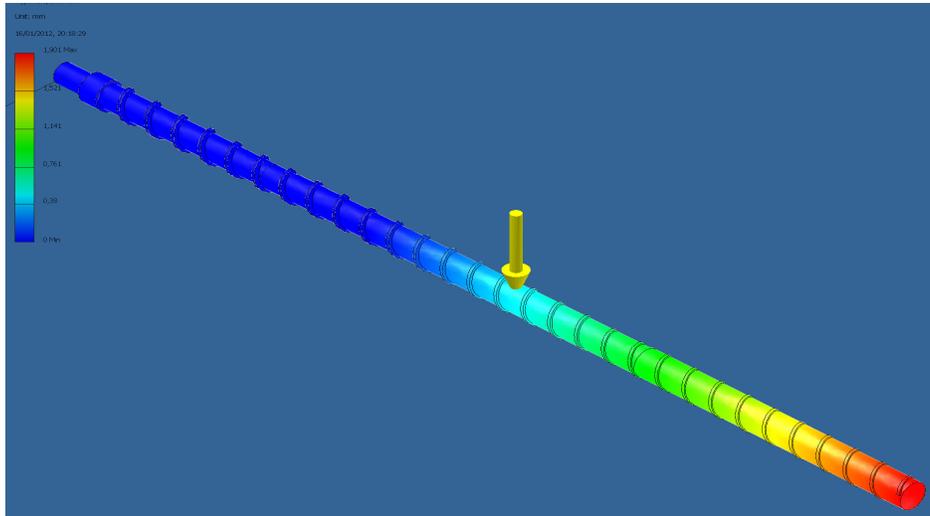


Ilustración 38 SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN POR GRAVEDAD DEL TORNILLO¹²³

Resumen de Resultados (Result Summary)

Tabla 22 Resumen de resultados¹²⁴

<i>Name (Nombre)</i>	<i>Minimum (Mínimo)</i>	<i>Maximum (Máximo)</i>
<i>Volume (Volumen)</i>	39499400 mm ³	
<i>Mass (Masa)</i>	310,07 kg	
<i>Von Mises Stress (esfuerzo combinado)</i>	0,000432533 MPa	30,8907 MPa
<i>1st Principal Stress (Esfuerzo principal)</i>	-4,177 MPa	22,0214 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-23,6864 MPa	0,906405 MPa
<i>Displacement (Desplazamiento)</i>	0 mm	1,90135 mm
<i>Safety Factor (Factor de servicio)</i>	6,70104 ul	15 ul
<i>Stress XX (esfuerzo XX)</i>	-17,3695 MPa	5,83121 MPa
<i>Stress XY (esfuerzo XY)</i>	-8,17782 MPa	15,2932 MPa
<i>Stress XZ (esfuerzo XZ)</i>	-6,28649 MPa	9,38116 MPa
<i>Stress YY (esfuerzo YY)</i>	-8,96347 MPa	9,6931 MPa
<i>Stress YZ (esfuerzo YZ)</i>	-1,55838 MPa	3,84738 MPa
<i>Stress ZZ (esfuerzo ZZ)</i>	-4,52852 MPa	7,10006 MPa
<i>X Displacement (Desplazamiento X)</i>	-0,0400803 mm	0,0400907 mm
<i>Y Displacement (Desplazamiento Y)</i>	-0,000278677 mm	0,00133328 mm
<i>Z Displacement (Desplazamiento z)</i>	-1,90135 mm	0,0000867159 mm

¹²³ FUENTE: Autor

¹²⁴ FUENTE: Autor

El tornillo al no estar en trabajo, por su peso tiende a flexionarse ya que solo tiene un apoyo que se encuentra en la parte posterior del tornillo (muñón), por medio de la simulación se a obteniendo una deflexión en el eje z de 1.9mm, lo cual puede ser considerado como alto, pero cabe indicar que el tornillo tiene esa deflexión en vacío, eso quiere decir que el tornillo se encuentra en reposo sin material dentro del cilindro de extrusión. Al momento de arrancar la extrusora, al husillo se le hace girar de forma lenta, y con la dosificación del plástico, el mismo material se encarga de alinear al husillo para su respectivo funcionamiento.

Durante el proceso de extrusión de polímeros, el tornillo es sometido a cargas de torsión y axial por el trabajo que efectúa, las mismas que remplazando en el software de elementos finitos, se obtiene los siguientes resultados.

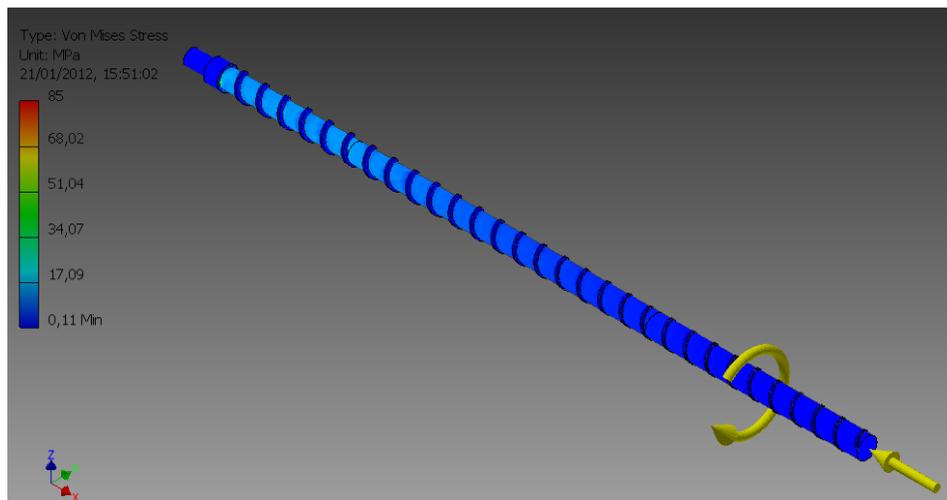


Ilustración 39 SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN CON CARGAS DE EXTRUSIÓN¹²⁵

¹²⁵ FUENTE: Autor

Resumen de Resultados (Result Summary)

Tabla 23 RESUMEN DE RESULTADOS (CARGAS DE EXTRUCCION)

<i>Name (Nombre)</i>	Minimum (Mínimo)	Maximum (Máximo)
<i>Volume (Volumen)</i>	39499400 mm ³	
<i>Mass (Masa)</i>	310,07 kg	
<i>Von Mises Stress (esfuerzo combinado)</i>	0,108958 MPa	86,095 MPa
<i>1st Principal Stress (Esfuerzo principal)</i>	-17,2025 MPa	86,124 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-112,991 MPa	1,46055 MPa
<i>Displacement (Desplazamiento)</i>	0 mm	0,678806 mm
<i>Safety Factor (Factor de servicio)</i>	1,46709 ul	15 ul
<i>Stress XX (esfuerzo XX)</i>	-81,3959 MPa	11,5671 MPa
<i>Stress XY (esfuerzo XY)</i>	-38,9997 MPa	54,231 MPa
<i>Stress XZ (esfuerzo XZ)</i>	-9,89698 MPa	40,3937 MPa
<i>Stress YY (esfuerzo YY)</i>	-58,9834 MPa	117,595 MPa
<i>Stress YZ (esfuerzo YZ)</i>	-14,8203 MPa	22,6489 MPa
<i>Stress ZZ (esfuerzo ZZ)</i>	-29,3911 MPa	45,0228 MPa
<i>X Displacement (Desplazamiento X)</i>	-0,352298 mm	0 mm
<i>Y Displacement (Desplazamiento Y)</i>	-0,586407 mm	0,12065 mm
<i>Z Displacement (Desplazamiento z)</i>	-0,333805 mm	0,269826 mm

2.3.8 DISEÑO DEL MUÑÓN

El muñón es la parte trasera del husillo, donde se logrará el acople con el motor para poder dar movimiento y plastificar el material. En la Ilustración se presenta un esquema de esta parte del sistema. A continuación se presentarán los cálculos pertinentes para comprobar la resistencia y los concentradores de esfuerzos del muñón, los cuales tendrán una reducción de un milímetro radial a partir del diámetro inicial del husillo. El valor del torque, para el cálculo se va a utilizar el más alto que corresponde al proceso de eco madera.

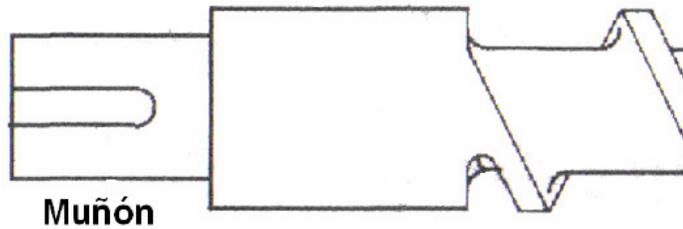


Ilustración 40 REPRESENTACION DEL MUNION

El acero con el que se van a realizar los cálculos es el CORRAX (Acero inoxidable de temple por precipitación) información ANEXO C

Datos técnicos:

S_y : Resistencia de fluencia en tracción

$$S_y = 232.06 \text{ ksi (1600MPa)}$$

S_u : Esfuerzo último en tracción

$$S_u = 246 \text{ ksi (1700MPa)}$$

Elongación 13% (Dúctil)

Dureza Rockwell 32 -50 HRC (250mBrinell como máximo)

De cálculos realizados anteriormente se retoman los siguientes valores para ser aplicados en esta etapa de diseño.

Torque 9260.77Nm

Diámetro del muñón 90 mm (Impuesto)

Revoluciones 35 rpm

Potencia obtenida 28.88 kW

Debido a que el porcentaje de elongación es del 13%, hablamos de un material dúctil, por lo tanto, para hallar el factor de seguridad para este tipo de materiales

$$N = \frac{S_n}{S_a \cdot K_f} \quad (126)$$

Dónde:

S_n : Resistencia a la fatiga

S_a : Esfuerzo alternativo

K_f : Coeficiente de reducción de esfuerzo a la fatiga

$$S_n = K \cdot K_{car} \cdot S_n^1$$

En donde

K : Operación de pieza (maquinado y forma)

K_{car} : Coeficiente debido a la carga que soportara la pieza

S_n^1 : Oposición del material a dejarse fatigar

$$S_n^1 = 0.5 \cdot S_u$$

$$S_n^1 = 0.5 \times 1700 \text{MPa}$$

$$S_n^1 = 850 \text{MPa}$$

Se define $K_{car} = 0.6$ ya que soportara cargas de torsión pura

$$S_a = \frac{T_a \cdot r}{J} = \frac{T_a \cdot r}{\frac{\pi}{32} \cdot d^4} \quad (127)$$

Dónde:

T_a : Torque (9260.77Nm)

r : Radio del muñón

d : Diámetro del muñón (90mm)

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

Dónde:

q : sensibilidad al entalle 0.92 (ANEXO D)

K_t : Coeficientes de esfuerzos 2.15 (ANEXO E)

¹²⁶ FUENTE: ROBERT L. MOTT; *Diseño de elementos de máquinas*; Editorial Pearson Educación de México S.A., Página 193 <Ecuación 5-23>

¹²⁷ FUENTE: RICHARD G. BUDYNAS Y J KEITH NISBETT; *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*; Editorial Mc Graw Hill, México, Página 310.

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_{ev} \quad (128)$$

Dónde:

K_a : Coeficiente de superficie

$K_a = 0,9$ ya que la pieza tiene como acabado un rectificado fino (Ver ANEXO F)

K_b : Coeficiente de tamaño

$$K_b = 0.869 \times (D)^{-0.097}$$

$$K_b = 0.869 \times (0.09)^{-0.097}$$

$$K_b = 1.097$$

K_c : Coeficiente de confiabilidad

$K_c = 0.759$ Para una confiabilidad del 99,9% en el diseño

K_d : Coeficiente de temperatura

$K_d = 1$ Ya que el rango de temperatura para este caso es inferior a 550°C.

K_{ev} : Coeficiente de efectos varios

$K_{ev} = 1$ Para el proceso de esta máquina no se esperan mayores Percances

De esta manera comenzamos a remplazar valores con lo que tenemos que:

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_{ev}$$

$$K = 0.9 * 1.097 * 0.759 * 1 * 1$$

$$K = 0.7497$$

$$S_n = K \times K_{car} \times S_n^1$$

$$S_n = 0.7497 \times 0.6 \times 624 \text{ MPa}$$

$$S_n = 280.723 \text{ MPa}$$

¹²⁸ FUENTE: RICHARD G. BUDYNAS Y J KEITH NISBETT; *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*; Editorial Mc Graw Hill, México, <Ecuación 16-18>

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

$$K_f = 1 + 0.92(2.15 - 1)$$

$$K_f = 2.058$$

$$S_a = \frac{T_a \times r}{\frac{\pi}{32} \times d^4}$$

$$S_a = \frac{9260.77 \text{ Nm} \times 0.045}{\frac{\pi}{32} \times 0.09^4}$$

$$S_a = 60.65 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{S_n}{S_a K_f}$$

$$N = \frac{280.723 \text{ MPa}}{60.65 \text{ MPa} \times 2.058}$$

$$N = 2.249$$

2.3.8 DISEÑO DE LA CHAVETA:

Una cuña o chaveta es un elemento de máquina que se ubica en la interface del eje y la masa de una pieza que transmite potencia con el fin de transmitir torque. La cuña es desmontable para facilitar el ensamble y desarmado del sistema de eje. Se instala dentro de una ranura axial que se maquina en el eje, la cual se denomina cuñero ó chavetero.

La cuña se usará en el ensamble de partes de la máquina extrusora de plásticos, la cual tiene como función asegurar las mismas contra un movimiento relativo, por lo general rotatorio, como es el caso entre flechas, cigüeñales, volantes, etc. Aun cuando los engranajes, las poleas, etc., están montados con un ajuste de interferencia, es aconsejable usar una cuña diseñada para transmitir el momento de torsión total

Para el diseño planteado se utilizará una cuña cuadrada o rectangular. Es el tipo más común de las cuñas para ejes de hasta 6 ½” de diámetro. La cuña rectangular se sugiere para ejes largos y se utiliza en ejes cortos donde puede tolerarse una menor altura. Tanto la cuña

cuadrada como la rectangular se denominan cuñas paralelas porque la parte superior, la inferior y los lados de la cuña son todos paralelos.

En el gráfico de la figura se presenta el siguiente esquema

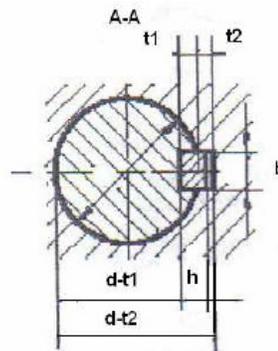


Ilustración 41 REPRESENTACION DE LA CHAVETA

Del gráfico tenemos:

- B = Base de la chaveta;
- h = Altura de la chaveta;
- d = Diámetro del husillo;
- t1 Y t2 Medida nominal del chavetero (profundidad en el árbol);

Las medidas correspondientes a la chaveta base y altura de tablas para diseño de chavetas se toman de la información presentada en el ANEXO G llegando a los siguientes valores:

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$h = 14 \text{ mm}$$

$$d = 90 \text{ mm}$$

Las normas DIN para chavetas contemplan distintas formas y tamaños para las mismas. Todas ellas pueden ser fabricadas con aceros de: cementación, temple, aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, así como aceros austeníticos resistentes al ácido y al óxido, acero C45K (Ver ANEXO H).

2.3.9 CALCULO DEL MOLINO

Para el cálculo del molino, se determinará la velocidad de giro de las cuchillas teniendo en cuenta la velocidad de producción de la extrusora.

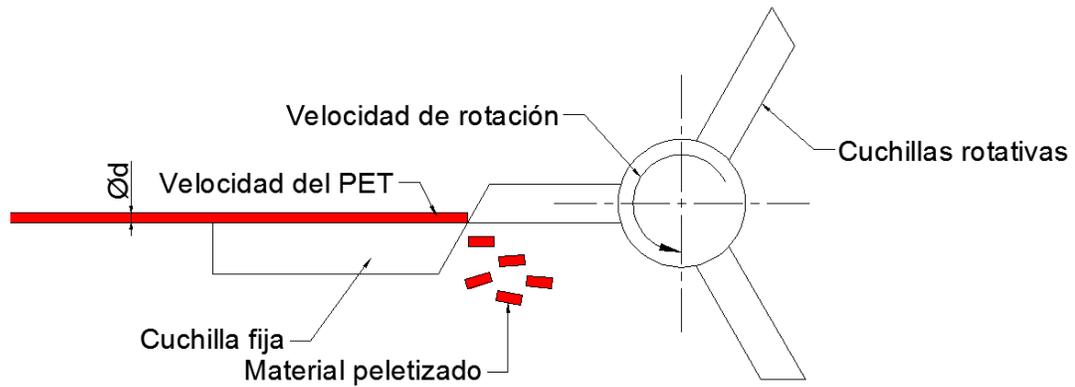


Ilustración 42 REPRESENTACION DE MOLINO

Tiempo de giro entre cuchillas:

Para el cálculo, se seleccionarán los datos anteriormente impuestos, como la velocidad lineal de salida del hilo, que fue utilizada en el cálculo del número de agujeros para la malla.

Para determinar el tiempo de giro entre las cuchillas del molino, se aplicara la siguiente formula.

$$V = \frac{L}{t}$$

Dónde:

L: es la longitud del pellet a procesar (5mm).

V: Velocidad de producción (lineal x hilo) = 90mm/seg.

t : tiempo de recorrido entre cuchillas, para la obtención de pellet de 5mm de longitud.

$$t = \frac{L}{V}$$

$$t = \frac{5}{90}$$

$$t = 0.055s$$

Velocidad de rotación:

Una vez obtenido el valor del tiempo que recorre cada cuchilla, se procede a determinar el número de revoluciones al que el eje.

Datos:

Numero de chichillas $N=3$

t: tiempo de recorrido entre cuchillas

$$\text{rpm} = \frac{60}{t * N}$$

$$\text{rpm} = \frac{60}{0.055 * 3}$$

$$\text{rpm} = 363.63\text{rpm} \approx 38.07 \text{ rad/seg}$$

Potencia del motor peletizador (molino):

Una vez obtenida las velocidades del eje, se procede a calcular la potencia del motor necesaria para su corte. Para lo cual necesitamos los siguientes valores:

Datos:

τ : Resistencia a la ruptura del PET (para este valor, se considerara el valor real del esfuerzo a la tensión de la madera plástica, dado que para los polímeros se puede aplicar la teoría de Von Mises, ya que los polímeros presentan una estructura fibrosa) = 3300psi \approx 22.75Mpa

D: diámetro del hilo de PET a obtener = 4mm

n: Número de hilos a extruir = 41.

r: radio de las cuchillas de corte (100mm)

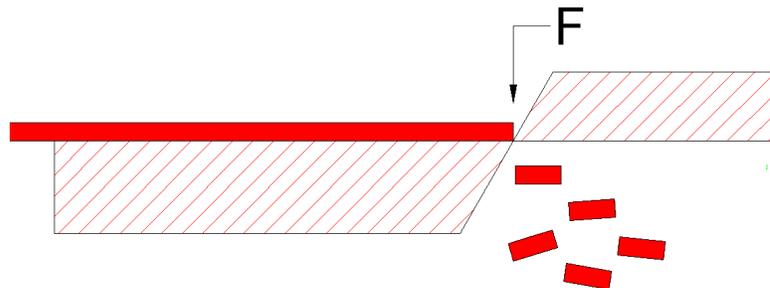


Ilustración 43 REPRESENTACION DE TRABAJO DEL MOLINO PELITIZADOR

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (129)$$

$$F = A * \tau$$

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} * \tau * n$$

El valor de n hace referencia al número de hilos a peletizar, por lo tanto para el cálculo, el área se multiplicara por el número de hilos para calcular con el área neta de corte.

$$F = \frac{\pi * 4^2}{4} * 22.75 * 41$$

$$F = 11721.28N$$

Calculada la fuerza se procede a calcular el torque T:

$$T = r * F \quad (130/131)$$

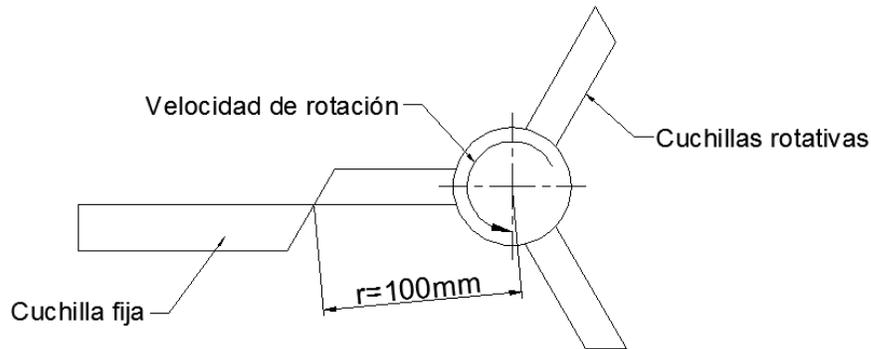


Ilustración 44 REPRESENTACION DEL RADIO DE TRABAJO DEL MOLINO PELITIZADOR

$$T = 0.1 * 11721.28$$

$$T = 1172.128Nm$$

¹²⁹ FUENTE: FERDINAD P.– E. RUSELL – JOHN T; *Mecánica de Materiales*; Editorial Mc Graw Hill, México 2007, Cuarta Edición, Página 38 <Ecuación 1.5>

¹³⁰ FUENTE: AUTOR

¹³¹ FUENTE: KURT GIECK; *Manual de fórmulas técnicas*; Editorial Alfaomega, México DF 1993, 19ª Edición, Página P7 <Ecuación p39>

Con los datos obtenidos anteriormente, se calcula la potencia que el motor requiere para cortar el plástico.

$$P = \frac{T \cdot \text{rpm}}{9550} \quad (132)$$

$$P = \frac{1172.128 \cdot 38.07}{9550}$$

$$P = 4.675 \text{ kW}$$

$$P = 6.38 \text{ Hp}$$

Material de las cuchillas de corte:

Para determinar el material adecuado para las cuchillas de corte tanto la fija como la móvil se debe tener presente las condiciones de trabajo a las que va a ser sometidas, ya que estas van a estar expuestas a esfuerzos variables. Por lo tanto deben presentar propiedades y características adecuadas para soportar los esfuerzos de corte. Para lo cual se recomienda utilizar un acero XW – 5 = AISI D6 que es utilizado para utillajes. Este acero presenta gran resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión y elevada dureza después del temple con muy buena estabilidad dimensional, adecuado para utillajes que necesiten excepcional resistencia al desgaste y larga vida, lo que implica bajos costos de reparación y mantenimiento.

Hay que considerar que por el esfuerzo que va a estar sometido este elemento la dureza requerida es de 58HRC, lo cual nos garantizara una tenacidad de la misma y una buena resistencia al impacto durante el corte. Datos técnicos del material revisar en el Anexo I.

¹³² FUENTE: KURT GIECK; *Manual de fórmulas técnicas*; Editorial Alfaomega, México DF 1993, 19ª Edición, Página M1.

2.3.9 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA PARA REFRIGERACIÓN DEL HILO EXTRUIDIDO.

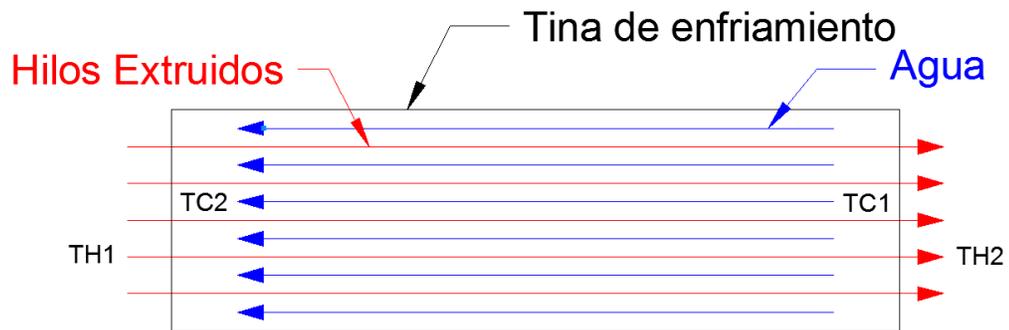


Ilustración 45 TINA DE ENFRIAMIENTO¹³³

Datos:

T_{H1} : Temperatura del hilo a la entrada a la tina de enfriamiento = 200°C

T_{H2} : Temperatura del hilo a la salida de la tina de enfriamiento = 50°C.

T_{C1} : Temperatura de ingreso del agua = 20°C

T_{C2} : Temperatura de salida del agua = 60°C

ρ : Densidad del Agua

$$C_p \text{ PET (Calor específico)} = 1.35 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \quad (134)$$

$$C_p \text{ Agua} = 4.212 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \quad (135)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{sal} - T_{ent}) \quad (136)$$

$$\rho = 961.5 \text{ kg/m}^3$$

¹³³ FUENTE: AUTOR

¹³⁴ FUENTE: YUNUS A. CENGEL; *Transferencia de Calor*; Editorial Mc Grawn Hill, S.A.; México, Página 726.

¹³⁵ FUENTE: YUNUS A. CENGEL; *Transferencia de Calor*; Editorial Mc Grawn Hill, S.A.; México, Página 730.

¹³⁶ FUENTE: YUNUS A. CENGEL; *Transferencia de Calor*; Editorial Mc Grawn Hill, S.A.; México, Página 684 <Ecuación

Dónde:

\dot{Q} =Transferencia de Calor

\dot{m} = Flujo másico

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{C2} - T_{C1})_{\text{Agua}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{H1} - T_{H2})_{\text{PET}}$$

Como la transferencia de energía es la misma, igualamos las dos ecuaciones, la del PET con la del Agua, entonces tenemos:

$$\dot{m} C_p (T_{C2} - T_{C1})_{\text{agua}} = \dot{m} C_p (T_{H1} - T_{H2})_{\text{PET}}$$

$$\dot{m} \cdot 4.212(60 - 20)_{\text{agua}} = 0.065462 \cdot 1.35(200 - 50)_{\text{PET}}$$

$$\dot{m} \cdot 168.48 = 13.25$$

$$\dot{m} \cdot 164.8 = 13.25 \text{ Kw}$$

$$\dot{m} = 0.0786 \text{ kJ/s}$$

Para calcular el caudal volumétrico que necesita la bomba dividimos el flujo másico del agua calculado anteriormente para la densidad.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$Q = \frac{0.0786}{961.5}$$

$$Q = 8.174 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 4.904 \text{ E}^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 4.904 \text{ lt}/\text{min}$$

$$Q = 1.311 \text{ galones}/\text{min}$$

2.4 Diseños

En el anexo J, perteneciente a este ítem, se encuentran los diseños tanto del tornillo de extrusión de PET con las dimensiones calculadas, el diseño del sistema de peletizado como cuchillas y eje giratorio y también de las dimensiones de la tina de enfriamiento del material extruido.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN DE PRODUCTOS A PARTIR DEL MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO.

3.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla algunas alternativas viables para la generación de nuevos productos a partir de materia prima reciclada donde no se requiere propiedades mecánicas óptimas como de un material virgen. Por tal motivo se presenta productos que cumplan su función, con un diseño estético y amigable al entorno que desplace a materiales tradicionales, de manera que tengan una aceptada demanda para su introducción al mercado para su posterior comercialización.

3.2 Alternativas de renovación de productos.

Como individuos y sociedad, continuamente generamos más basura y los centros de acopio que tenemos ya no dan abasto. La eliminación ineficaz e irresponsable de esta basura contamina el medio ambiente y representa un peligro para la salud pública. Además, los ciudadanos no quieren tener un centro de acopio, un incinerador o un centro de reciclaje en sus vecindarios.

Por responsabilidad social y exigencias de ley ambiental, las diferentes organizaciones y empresas tienden a reutilizar la basura como un recurso que puede ser sostenible económicamente con el tiempo. Algunas comunidades han visto la oportunidad en este proyecto por lo cual están minorando y reciclando la basura que estos generan, presentando alternativas para poder insertar el plástico reciclado como materia prima para algunos productos, tales como:

Madera Plástica o perfiles la cual se puede aplicar para: Bancos, mesas para jardín, mobiliario urbano para parques lineales, celosías o nervaduras para construcción, barandas, vallas.

Recipientes para usos industriales, agrícolas, ganaderos y doméstico.

Pallets industriales y adoquines.

Estas son algunos ejemplos de la multitud de productos que se pueden fabricar a partir del plástico reciclado.

3.3 Análisis de Diseños de productos obtenidos a partir de plástico reciclado.

En este ítem se realizará el análisis de diferentes productos fabricados con plástico reciclado, las características que estos deben tener, y por medio de qué proceso se lo puede fabricar.

Para procesar el plástico reciclado tenemos los diferentes métodos tales como: inyección, extrusión.

3.3.1 MADERA PLÁSTICA

La madera plástica es un producto obtenido por un proceso de extrusión utilizando plástico post consumo o plástico considerado como desecho que es reciclado, previo un proceso de selección, lavado y molido. Debemos considerar que por ser reciclado debemos peletizarlo para posteriormente mezclarlo con un porcentaje de materia prima virgen, aditivo y plastificante que mejoraran las propiedades del polímero que nos permite mecanizarlo para su posterior ensamblaje.

“La madera plástica es un material ecológico, sustentable y reciclable con magnificas propiedades físicas y mecánicas. Debido a su alta capacidad de resistencia a agentes externos y condiciones climatológicas nos permite que sea un sustituto ideal de materiales tradicionales como madera, concreto, plástico inyectado, entre otros.

La resistencia es sin duda una de las principales ventajas, por ello los elementos fabricados a partir del plástico reciclado tienen grandes cualidades que le permiten reemplazar a la madera, por ser estéril, imperecedero, aislante, insensible al agua y a la humedad, a los agentes químicos, rayos UV, organismos vivos como las bacterias o los insectos, además, resulta muy fácil de lavar y desinfectar.

3.3.1.1 Propiedades físicas de los Tableros de Madera Plástica

Peso específico: 0.90 a 0.96 gr/cc.

3.3.1.2 Propiedades térmicas de los Tableros de Madera Plástica

Máxima temperatura de servicio: 75°C

Punto de reblandecimiento: 130°C

Máxima resistencia a baja temperatura (PET): -75°C

3.3.1.3 Propiedades mecánicas de los Tableros de Madera Plástica

Dureza: shore D 63; rockwell 49

Esfuerzo a tensión: 3,300 psi

Elongación para ruptura: 800%

Módulo de flexión: 125,000 psi

Izod impacto: 8 ft-lb/in

*Las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica son de acuerdo al fabricante que controla la síntesis y procesamiento para cumplir las características requeridas que pueden variar en función de los tipos de polímeros empleados y al grado de degradación de los mismos”.*¹³⁷

Podemos obtener madera plástica con diferentes características físicas como, superficies lisas, regulares y de diferentes secciones que pueden ser clavados, atornillados, taladrados, grapados, pegados o soldados. Se podrían fabricar en diferentes colores como se pueden pintar o lacar de tonos distintos.

Los plásticos que se procesan generalmente para la obtención de la madera plástica son polipropileno, polietileno y PET.

La generación de madera plástica, por su bajo costo y alta rentabilidad se está empleando en diversos países como alternativa de uso, y como fuente de trabajo para la gente encargada de clasificar los diferentes tipos de plástico, a continuación presentamos algunas alternativas para la madera plástica.

¹³⁷ FUENTE: KUADRO; *Tableros de Madera Plástica*; www.kuadro.mx; 2011.



Ilustración 46 PLANCHA DE MADERA PLASTICA RECICLADA (EXTRUIDA)¹³⁸



Ilustración 47 MOVILIARIO PARA ESTAR EN LA INTERPERIE¹³⁹



Ilustración 48 VALLAS DE MADERA PLASTICA¹⁴⁰



Ilustración 49 MACETERO DE MADERA PLASTICA¹⁴¹

¹³⁸ FUENTE: http://www.maderaplastica.co/productos_de_madera_plastica.html

¹³⁹ FUENTE: <http://www.producol.net/>

¹⁴⁰ FUENTE: <http://www.madere.es/>

¹⁴¹ FUENTE: MARIANA GARCÍ-FELICITAS SALGADO, Reciclado de PET Alternativas de comercialización, Universidad de Buenos Aires Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, (fecha de consulta Lunes 1 de Agosto del 2011)



Ilustración 50 PARQUES LINEALES¹⁴²



Ilustración 51 OTRAS APLICACIONES DE MADERA PLASTICA

3.3.2 RECIPIENTES PARA USOS INDUSTRIALES, AGRÍCOLAS, GANADEROS Y DOMÉSTICO:

Los productos de uso industrial, agrícolas, ganaderos y domésticos, son obtenidos por medio del proceso de inyección en su gran mayoría, que deben cumplir la función para lo cual fueron elaborados. Los productos de plásticos nos proporcionan una gama amplia de posibilidades ya sea por su diseño, forma y color. Algunos de estos productos se pueden obtener partiendo de la extrusión de plástico reciclado (PET) cumpliendo los estándares requeridos para su uso.

¹⁴² FUENTE: MARIANA GARCÍ-FELICITAS SALGADO, Reciclado de PET Alternativas de comercialización, Universidad de Buenos Aires Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, (fecha de consulta Lunes 1 de Agosto del 2011)



Ilustración 52 TANQUES PARA EL USO AGRICOLA, GANADERO TACHOS DE BASURA Y MACETAS¹⁴³



Ilustración 53 CESTAS Y BOLSOS DE PET¹⁴⁴

3.3.3 PALLETS INDUSTRIALES Y ADOQUINES

Los pallet y los adoquines, son obtenidos a partir del proceso de inyección, de igual manera lo más importante en este tipo de productos sería la resistencia que ofrezcan al ser obtenidos con plástico reciclado.



Ilustración 54 PALLET Y ADOQUIN DE PLASTICO RECICLADO¹⁴⁵

¹⁴³ FUENTE: http://www.maderaplastica.co/productos_de_madera_plastica.html

¹⁴⁴ FUENTE: MARIANA GARCÍ-FELICITAS SALGADO, Reciclado de PET Alternativas de comercialización, Universidad de Buenos Aires Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, (fecha de consulta Lunes 1 de Agosto del 2011)

3.4 Prototipos.

Una vez analizado algunas alternativas de productos obtenidos a partir de plástico reciclado, el siguiente paso es la generación de prototipos. Un prototipo es un modelo (representación, demostración o simulación) fácilmente modificable, probablemente incluyendo sus características mecánicas, su estética y su funcionalidad.

En este caso la representación física de prototipos de productos a partir de reciclado no es posible, ya que en nuestro medio no existen las diversas formas de madera plástica.

3.4.1 DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS.

En este ítem, se realizarán diseños de prototipos, los cuales serán fabricados partiendo del plástico reciclado.

Para el desarrollo nos vamos a basar en el concepto de prototipos digitales.

Un prototipo digital es una simulación digital de un producto que sirve para probar su forma, su ajuste y su función. El prototipo digital se va completando a medida que se integran todos los datos de diseño conceptuales, mecánicos y eléctricos asociados. Un prototipo digital completo es una verdadera simulación digital de todo el producto final, que puede utilizarse para optimizar y validar virtualmente un producto y así reducir la necesidad de fabricar costosos prototipos físicos.

Digital Prototyping es el diseño de prototipos digitales, que proporciona a los departamentos de diseño conceptual, ingeniería y fabricación la capacidad de explorar virtualmente un producto completo antes de que sea real. Con los prototipos digitales, los fabricantes pueden crear, validar, optimizar y gestionar los diseños desde la fase conceptual hasta el proceso de fabricación. El uso de un único modelo digital a lo largo del proceso de diseño ayuda a los equipos de desarrollo de producto a amplificar el nivel de comunicación con las diferentes partes implicadas, a la vez que se lanzan al mercado productos más innovadores en menos tiempo. Con los prototipos digitales, los fabricantes pueden visualizar y simular el funcionamiento real del diseño con menor dependencia de los caros prototipos físicos.¹⁴⁶

¹⁴⁵ FUENTE: [Http://www.maderaplastica.co/productos_de_madera_plastica.html](http://www.maderaplastica.co/productos_de_madera_plastica.html)

¹⁴⁶ FUENTE: AUTODESK INC; *Digital Prototyping: Preguntas y respuestas*. EEUU 2007

En el Anexo K se exponen dos prototipos digitales, planteados para la aplicación del plástico reciclado, con las dimensiones, elementos del que se compone, el material del que son constituidos.

3.5 Validación de prototipos.

Para la validación de los prototipos se debe realizar pruebas de resistencia, funcionamiento y estética. En este caso la validación de la resistencia se lo realizará por medio de un software que simulará los esfuerzos producidos por las fuerzas aplicadas en el producto. En lo concerniente a la estética donde se analizará su forma y color dependerá del uso final que se le dé al mismo, de manera que este no cause una contaminación visual en el ambiente donde se ha de utilizar.

3.5.1 VALIDACIÓN DE PRODUCTOS DE MATERIAL RECICLADO PARA LA EMPRESA MUNICIPAL EMAC DE CUENCA.

3.5.1.1 Columpio

A continuación se presenta una imagen de una de la propuesta a ser analizada:



Ilustración 55 COLUMPIO HECHO CON MADERA PLÁSTICA

Las dimensiones, y materiales del que es constituido el producto se encuentra detallado en el diseño que se encuentra en el anexo J perteneciente al ítem 3.3.1.

Justificación: el columpio es uno de los juegos más populares de los parques lineales, el cual la empresa municipal de aseo de Cuenca EMAC podría producir partiendo del

concepto de la madera plástica, introduciendo el plástico reciclado a productos que no son de primera necesidad, evitando que sean fabricados de madera y de alguna manera impidiendo la tala de árboles.

Se va a realizar el estudio mecánico de esfuerzos que podría soportar un columpio, en su funcionamiento, con el cual se analizará el dimensionamiento de la madera plástica que se podría producir para funcionamiento eficaz.

Cálculos:

Para los cálculos del producto especificado anteriormente (Columpio), se está considerando un peso de 200 libras, en cada asiento, por lo que tendríamos un peso en cada cadena de 100 libras.

Diagrama de cargas a aplicar en la viga.

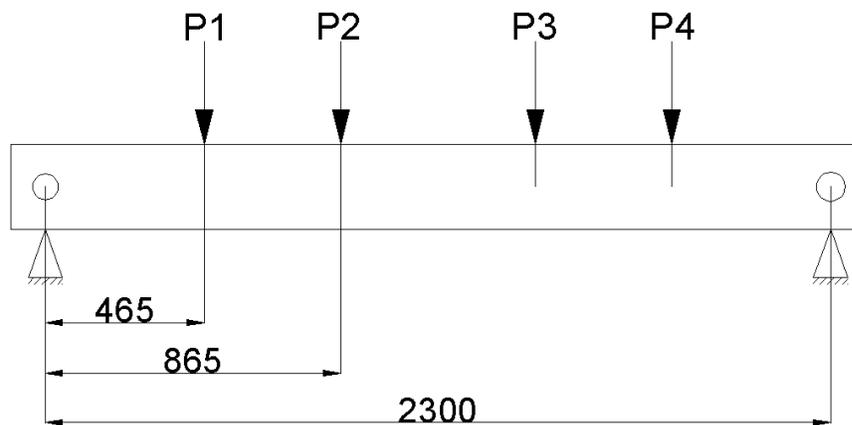


Ilustración 56 DISEÑO DE VIGAS DE MADERA PLASTICA

Transformando a kg:

$$P = 100 \text{ lb}$$

$$P = \frac{100 \text{ lb}}{2.2}$$

$$P = 45.45 \text{ kg}$$

Entonces:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 45.45 \text{ kg}$$

Transformando a N:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 45.45 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 445.86 \text{ N}$$

Calculo de las reacciones (Condiciones de Equilibrio)¹⁴⁷:

$$\sum F_X = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$$

Al ser las cargas las mismas, se aplica las condiciones de equilibrio:

$$R_A + R_B + 4P = 0$$

$$R_A + R_B + 4(445.86) = 0$$

$$R_A + R_B = 1783.458 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3 + P_4x_4 - R_B L_T = 0$$

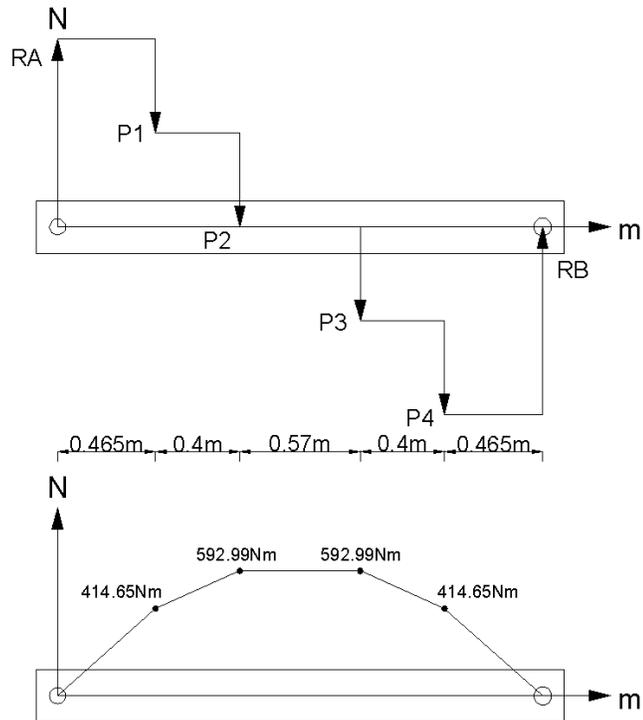
$$[(445.8645 \text{ N})(0.465 \text{ m}) + (445.8645 \text{ N})(0.865 \text{ m}) + (445.8645 \text{ N})(1.435 \text{ m}) \\ + (445.8645 \text{ N})(1.835 \text{ m}) - R_B(2.3 \text{ m})] = 0$$

$$[(207.3269 \text{ Nm}) + (385.672 \text{ Nm}) + (639.815 \text{ Nm}) + (818.161 \text{ Nm}) - R_B(2.3 \text{ m})] = 0$$

$$R_A = R_B = 891.728 \text{ N}$$

¹⁴⁷ FUENTE: KURT GIECK; *Manual de fórmulas técnicas*; Editorial Alfaomega, México DF 1993, 19ª Edición, Página K4.

Diagrama de esfuerzos cortantes y de momentos de inercia:



Determinación del esfuerzo de diseño.

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{max}}{N}$$

σ_{max} : Esfuerzo máximo a la tensión del material.

σ_d : Esfuerzo de diseño.

N: Factor de seguridad: Para cargas repetitivas los factores establecidos se encuentran entre 1 a 6 que son aceptables¹⁴⁸, por esta razón se trabajara con un factor de seguridad de 2)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{max}}{N} = \frac{22.75MPa}{2}$$

$$\sigma_d = 11.375E^6Pa(N/m^2)$$

¹⁴⁸ FUENTE: R.S.KHURMI, J.K.GUPTA; *Textbook of Machine Desing*; Editorial Eurasia Publishing House, Neu Delhi 2005, 14ª Edición, Página 154.

Determinación del módulo de sección mínima admisible:¹⁴⁹

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma d}$$

S: módulo de sección

M_{max}: momento máximo.

σd: Esfuerzo de diseño.

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma d} = \frac{592.99Nm}{11.375E^6 N/m^2}$$

$$S = 52131.8m^2$$

Por lo general y analizando la sección de un tablón de madera, vamos a imponernos un valor h (altura del perfil) de 200mm, para determinar el espesor del tablero.

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (150)$$

h: altura.

b: espesor o base del tablón

S: sección previamente calculada.

$$b = \frac{6 \cdot S}{h^2} = \frac{6 \cdot 52131.8m^2}{200^2}$$

$$b = 7.82mm$$

Obteniendo que el ancho mínimo de la madera plástica para esta carga es de 7.82mm. Por motivos de manipulación en el proceso productivo, constructivo y estandarización del material para varias aplicaciones posibles que se podría dar a la madera plástica, se considerara una sección rectangular de 200x25(mm), aprovechando al mismo tiempo mayor cantidad de plástico reciclado destinado a ser reutilizado.

¹⁴⁹ FUENTE: ANDREW PYTEL; *Resistencia de Materiales*; Editorial Harla, México DF 1994, 4ª Edición, Página 126.

¹⁵⁰ FUENTE: ANDREW PYTEL; *Resistencia de Materiales*; Editorial Harla, México DF 1994, 4ª Edición, Tabla 5.1, Página

Recalculo del esfuerzo admisible:

Una vez determinado el espesor admisible del tablón de madera plástica, se procede a calcular el esfuerzo admisible con la sección impuesta (25 x 200)mm.

$$\sigma_{ad} = \frac{M_{max}}{S} \quad (151)$$

Donde S es el módulo de sección del tablón.

$$S = \frac{b * h^2}{6} = \frac{25 * 200^2}{6} = 166.66 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{ad} = \frac{M_{max}}{S} = \frac{592.99 \text{ Nm}}{166.66 \text{ E}^6 \text{ Pa}}$$

$$\sigma_{ad} = 3.55 \text{ MPa}$$

Con el valor re calculado de δ_{ad} (esfuerzo admisible), podemos observar que es mayor al esfuerzo máximo del plástico reciclado de 22.75MPa.

Determinación del factor de seguridad de la sección impuesta

$$N = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ad}} \quad (152)$$

$$N = \frac{22.75}{3.55}$$

$$N = 6.4$$

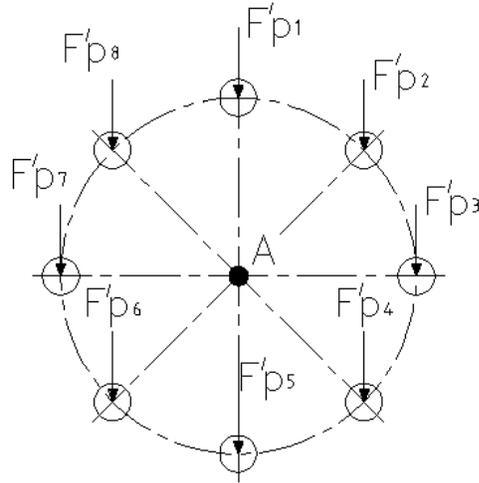
Con el valor de N calculado, podemos determinar que el factor de seguridad se encuentra por encima de lo recomendado para cargas repetitivas, eso implica que la sección de la madera plástica puede soportar las cargas con mucha mayor facilidad.

¹⁵¹ FUENTE: ANDREW PYTEL; *Resistencia de Materiales*; Editorial Harla, México DF 1994, 4ª Edición, Página 127.

¹⁵² FUENTE: JAMES GERE; *Mecánica de Materiales*; Thompson Editores, México DF 1998, 4ª Edición, Tabla G-2, Página 38.

Calculo de aplastamiento en las juntas de soporte.

$F'p$: Carga con respecto al esfuerzo cortante. (Se obtuvo del diagrama de cortante.)



$$R_A = 891.728N$$

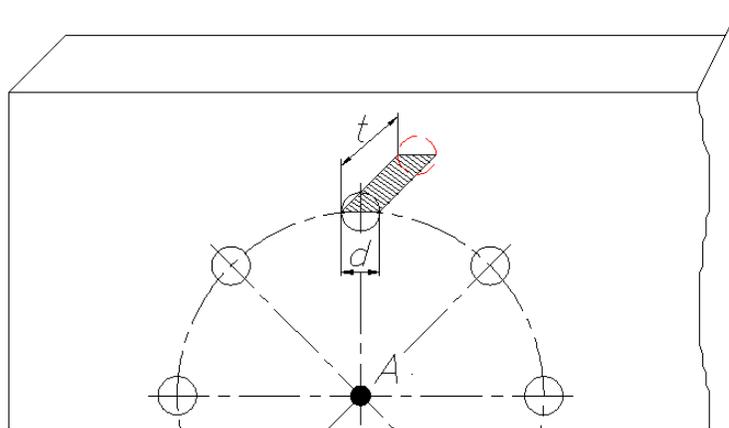
$$M_A = 0$$

$$R_A = F'p_1 + F'p_2 + F'p_3 + \dots$$

$$F'p_1 = \frac{R_A}{8} = \frac{891.728}{8} = 111.466N$$

$F''p_1$: Carga con respecto al momento torsor en el punto A.

Aplastamiento en la madera plástica:



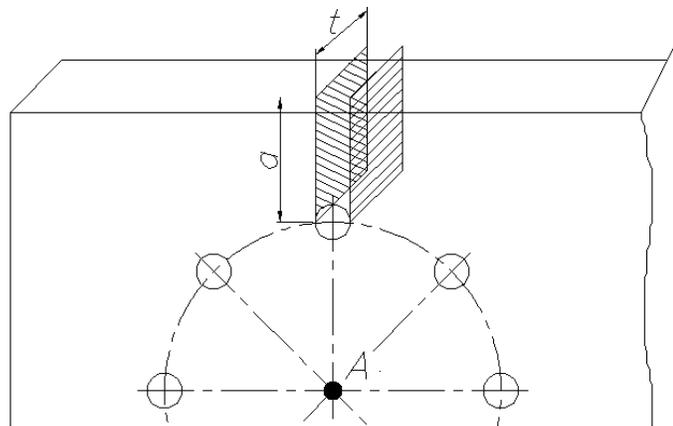
$$\sigma_{cal} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{cal} = \frac{F}{d * t}$$

$$\sigma_{cal} = \frac{111.40 N}{(12.7 * 25) mm^2}$$

$$\sigma_{cal} = 0.35 MPa$$

Cálculo de cortante del borde de la madera plástica:



$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{F}{2(a * t)}$$

$$\tau = \frac{111.40 N}{2(42.5 * 25) mm^2}$$

$$\tau = 0.104 MPa$$

Se calcula el factor de seguridad para el esfuerzo cortante.

$$N = \frac{\sigma_{max}}{\tau}$$

$$N = \frac{22.75}{0.104}$$

$$N = 2018.75$$

Según el dato obtenido se puede observar que el factor N del esfuerzo cortante es alto, es decir que primero el columpio fallaría por flexión que por cortante en los extremos.

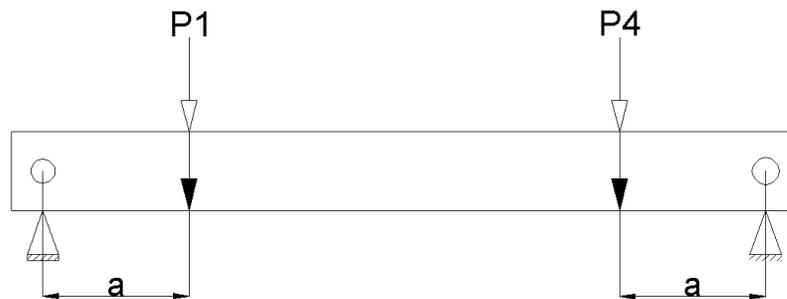
Módulo de Resistencia:¹⁵³

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0.025 * 0.2^3}{12} = 1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$EI = 1.63 \times 10^9 * 1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^4 = 27172.1 \text{ N} * \text{m}^2$$

Para la determinación de Ymax, se utilizara el método de superposición

y_{max} Para P1 y P4



$$y_{max} = \frac{P*a}{24EI} * (3L^2 - 4a^2) \quad (154)$$

$$y_{max} = \frac{445.86\text{N} * 0.465\text{m}}{24(27172.1)} * [3(2.3\text{m})^2 - 4(0.165\text{m})^2]$$

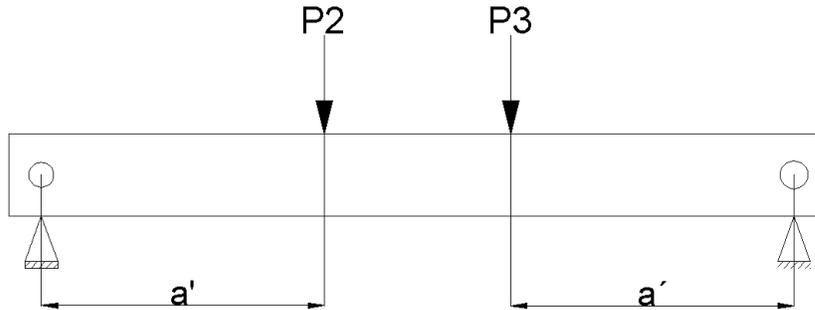
511. ¹⁵³ FUENTE: ANDREW PYTEL; *Resistencia de Materiales*; Editorial Harla, México DF 1994, 4ª Edición, Tabla A-1, Página

884. ¹⁵⁴ FUENTE: JAMES GERE; *Mecánica de Materiales*; Thompson Editores, México DF 1998, 4ª Edición, Tabla G-2, Página

$$y_{\max} = \frac{207.3249\text{N} * \text{m}}{652130.4 * \text{m}^2} * [15.87 - 0.8649]\text{m}^2$$

$$y_{\max} = 4.7704\text{E}^{-3}\text{m}$$

y_{\max} Para P2 y P3



$$y_{\max} = \frac{P * a}{24EI} * (3L^2 - 4a^2)$$

$$y_{\max} = \frac{445.86\text{N} * 0.865\text{m}}{24(27172.1)} * [3(2.3\text{m})^2 - 4(0.865\text{m})^2]$$

$$y_{\max} = \frac{385.6689\text{N} * \text{m}}{652130.4 * \text{m}^2} * [15.87 - 2.9929]\text{m}^2$$

$$y_{\max} = 7.6154\text{E}^{-3}\text{m}$$

y_{\max} Para carga distribuida

$$y_{\max} = \frac{-5wL^4}{384EI}$$

$$y_{\max} = \frac{-5 * 42.183 * 2.3^4}{384 * 652130.4}$$

$$y_{\max} = \frac{5092.266\text{N} * \text{m}}{250418073.6\text{N} * \text{m}^2}$$

$$y_{\max} = 2.0335\text{E}^{-5}\text{m}$$

Por lo tanto la deflexión total será la suma de las 3 deflexiones anteriores

$$y_{\text{total}} = 4.7704\text{E}^{-3}\text{m} + 7.6154\text{E}^{-3}\text{m} + 2.0335\text{E}^{-5}\text{m}$$

$$y_{\text{total}} = 0.0124057\text{m a } 12.406\text{mm}$$

El valor de y_{total} es un valor admisible, ya que las cargas con las que se realizaron los cálculos son elevadas, simulando el peso de dos personas adultas. La deflexión unitaria del columpio se obtiene dividiendo el y_{total} para la luz de la viga que es 2300 milímetros obteniendo una deflexión unitaria de 0.0053mm.

A continuación se va a verificar el y_{total} calculado por medio de un software de elementos finitos Inventor.

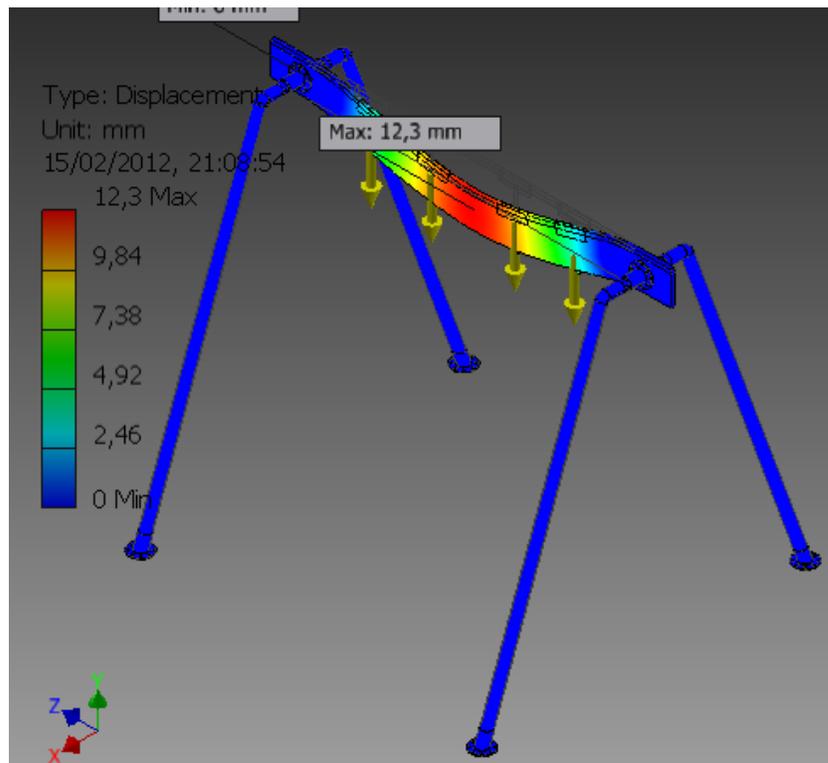


Ilustración 57 ANALISIS DE DEFLEXION DE VIGA DE MADERA PLASTICA¹⁵⁵

¹⁵⁵ FUENTE: AUTOR

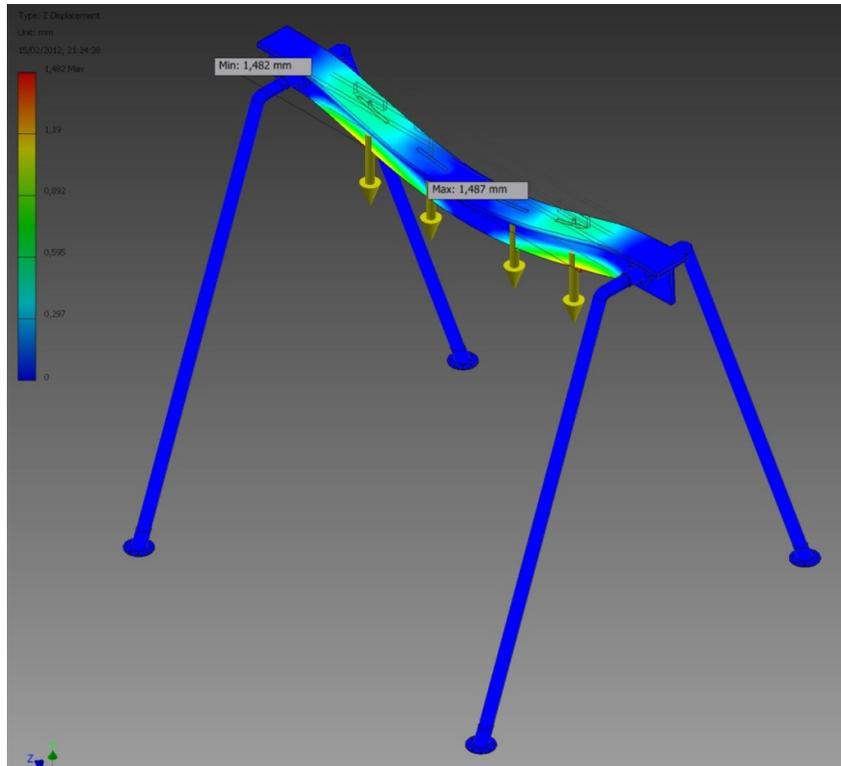
Resumen de Resultados (Result Summary)

Tabla 24 RESUMEN DE RESULTADOS (ANALISIS DE COLUMPIO)¹⁵⁶

Name (Nombre)	Minimum	Maximum
Volume (Volumen)	20433300 mm ³	
Mass (Masa)	61,5173 kg	
Von Mises Stress (esfuerzo combinado)	0 MPa	719,242 MPa
1st Principal Stress (Esfuerzo principal)	-138,883 MPa	634,836 MPa
3rd Principal Stress	-590,74 MPa	199,378 MPa
Displacement (Desplazamiento)	0 mm	12,301 mm
Safety Factor (Factor de servicio)	0,287803 ul	15 ul
Stress XX (esfuerzo XX)	-144,895 MPa	221,176 MPa
Stress XY (esfuerzo XY)	-170,783 MPa	178,671 MPa
Stress XZ (esfuerzo XZ)	-164,107 MPa	203,459 MPa
Stress YY (esfuerzo YY)	-360,014 MPa	592,98 MPa
Stress YZ (esfuerzoYZ)	-310,505 MPa	394,052 MPa
Stress ZZ (esfuerzo ZZ)	-362,401 MPa	267,099 MPa
X Displacement (Desplazamiento X)	-0,17199 mm	0,122064 mm
Y Displacement (Desplazamiento Y)	-12,301 mm	0,0638728 mm
Z Displacement (Desplazamiento z)	-2,04691 mm	2,01633 mm

Para disminuir la deflexión del columpio y proporcionarle mayor rigidez, mejorando la inercia del de la estructura, se coloca una viga (madera plástica) en forma transversal a la viga principal y se realiza el análisis que se encuentra a continuación.

¹⁵⁶ FUENTE: AUTOR



Resumen de Resultados (Result Summary)

Tabla 25 RESUMEN DE RESULTADOS (ANALISIS DE COLUMBIO)¹⁵⁷

Name (Nombre)	Minimum	Maximum
Volume (Volumen)	32178300 mm ³	
Mass (Masa)	71,618 kg	
Von Mises Stress (esfuerzo combinado)	0 MPa	519,412 MPa
1st Principal Stress (Esfuerzo principal)	-155,429 MPa	385,051 MPa
3rd Principal Stress	-447,285 MPa	119,067 MPa
Displacement (Desplazamiento)	0 mm	7,82229 mm
Safety Factor (Factor de servicio)	0,398528 ul	15 ul
Stress XX (esfuerzo XX)	-173,117 MPa	132,156 MPa
Stress XY (esfuerzo XY)	-169,458 MPa	135,363 MPa
Stress XZ (esfuerzo XZ)	-150,678 MPa	168,387 MPa
Stress YY (esfuerzo YY)	-371,002 MPa	373,986 MPa
Stress YZ (esfuerzoYZ)	-169,996 MPa	192,401 MPa
Stress ZZ (esfuerzo ZZ)	-333,428 MPa	178,035 MPa
X Displacement (Desplazamiento X)	-0,0758961 mm	0,0730835 mm
Y Displacement (Desplazamiento Y)	-7,82216 mm	0,225358 mm
Z Displacement (Desplazamiento z)	-1,48731 mm	1,48185 mm

¹⁵⁷ FUENTE: AUTOR

Los valores obtenidos mejorando la inercia de la viga principal del columpio, nos muestra una deflexión de 1.48 mm, correspondiente a una disminución en la deflexión de 8 veces, garantizando de sobre medida la resistencia del mismo con todas las consideraciones previamente calculado.

El columpio es uno de los productos que se podría implementar en los parques lineales, presentando un menor impacto ambiental y garantizando la responsabilidad social de la empresa municipal EMAC para la sociedad.

3.5.1.2. Maceta para centro histórico.

A continuación se presenta una imagen de otra propuesta a ser analizada:

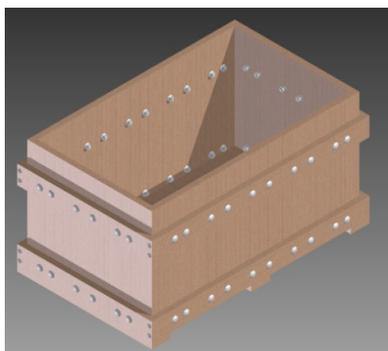


Ilustración 58 Maceta de madera plástica¹⁵⁸

Las dimensiones, y materiales del producto se encuentran detallados en el diseño que se encuentra en el anexo K perteneciente al ítem 3.3.1.

Justificación: La maceta es un elemento muy utilizado en las calles de la ciudad de Cuenca, estas macetas actualmente son construidas con madera, las cuales al estar expuestas al medio ambiente no pueden conservar sus características físicas y ornamentales por un largo periodo. Lo que se propone es remplazar la madera por madera plástica, utilizando los plásticos desechados por la ciudadanía en productos que nos permitan embellecer la ciudad, con un material de mejores características y durabilidad.

Por esta razón se va a realizar el estudio mecánico de esfuerzos que podría soportar las macetas. La propuesta es que para evitar el costo de fabricación de boquillas y tiempos muertos en la producción por intercambio de las mismas, se pudiese realizar la mayor cantidad del producto, partiendo de un solo perfil.

¹⁵⁸ FUENTE: AUTOR

Cálculos:

Para los análisis del producto especificado anteriormente (Maceta), se considerara como cargas, la presión que ejerce la tierra de cultivo en las paredes y en la base de la maceta, la densidad de la tierra de cultivo que es de 1400kg/m^3 ¹⁵⁹

Se calcula la presión a la que va a estar expuesta las paredes de la maceta, teniendo en cuenta la densidad de la tierra de cultivo y la altura de la maceta.

$$P = \frac{\rho * V}{A}$$

Dónde:

P: Presión.

ρ : Densidad

V: volumen

A: Área

L: Largo de la maceta

b: ancho de la maceta

h: Altura

$$P = \frac{\rho * L * b * h}{L * b}$$

$$P = \rho * h$$

A continuación se remplazaran los datos y se considerará un 95% de la altura ya que no son llenadas en su totalidad.

$$P = 1400 * 0.5 * 0.95$$

$$P = 665 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$P = 0.00652365 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 0.0065 \text{MPa}$$

A continuación se va a verificar la deformación sufrida por la maceta en cada una de sus caras por medio del software de elementos finitos Inventor.

¹⁵⁹ FUENTE: GRAETZ, H. A.; *Suelos y fertilización*; Manuales para educación agropecuaria: suelos y agua. No. 34. Editorial Trillas. México. 2a. ed. 2002. 80 p. ilus.

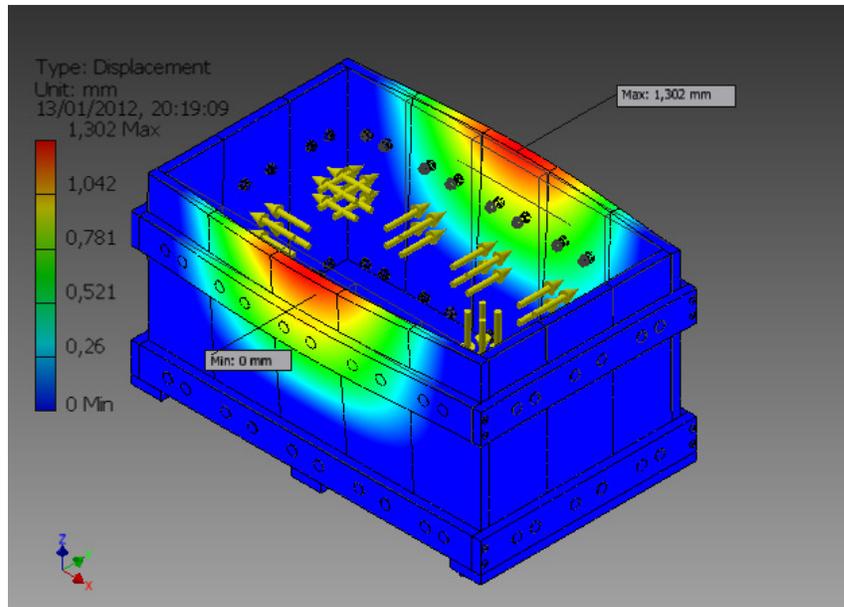


Ilustración 59ANALISIS VISUAL DE CARGAS MACETA¹⁶⁰

Resumen de Resultados (Result Summary)

Tabla 25 RESUMEN DE RESULTADOS MACETA¹⁶¹

Name (Nombre)	Minimum	Maximum
Volume (Volumen)	72366600 mm ³	
Mass (Masa)	100,024 kg	
Von Mises Stress (esfuerzo combinado)	0,0020387 MPa	2,77127 MPa
1st Principal Stress (Esfuerzo principal)	-0,184198 MPa	2,5997 MPa
3rd Principal Stress	-2,77025 MPa	0,251341 MPa
Displacement (Desplazamiento)	0 mm	1,54318 mm
Safety Factor (Factor de servicio)	15 ul	15 ul
Stress XX (esfuerzo XX)	-1,76845 MPa	2,59867 MPa
Stress XY (esfuerzo XY)	-0,463926 MPa	0,489415 MPa
Stress XZ (esfuerzo XZ)	-0,872941 MPa	0,858188 MPa
Stress YY (esfuerzo YY)	-1,70057 MPa	1,49189 MPa
Stress YZ (esfuerzoYZ)	-0,452237 MPa	0,453467 MPa
Stress ZZ (esfuerzo ZZ)	-2,7682 MPa	1,54565 MPa
X Displacement (Desplazamiento X)	-0,120436 mm	0,120881 mm
Y Displacement (Desplazamiento Y)	-1,54217 mm	1,5427 mm
Z Displacement (Desplazamiento z)	-0,102474 mm	0,0586749 mm

¹⁶⁰ FUENTE: AUTOR

¹⁶¹ FUENTE: AUTOR

Según los datos obtenidos, podemos observar que los valores correspondientes a las coordenadas X y Z que son la base y los extremos de la maceta son valores de deformación despreciables. A lo que corresponde a la coordenada Y que son las caras laterales de la maceta, la deformación por presión de la tierra a la pared es de 1.54mm, lo cual no perjudica en nada al funcionamiento y servicio, dando como resultado un producto aplicable para determinada función.

3.6 Eco-diseño.

3.6.1 Introducción

Los impactos medioambientales son fundamentalmente a causa del uso de materias y/o de energías. Energías para obtener materias primas, para su producción, para el uso de estos productos y para eliminar al final de la vida útil, estas energías necesarias son en su mayoría no renovables las mismas emiten sustancias nocivas. Productos que en su composición pueden tener materiales tóxicos, o que en su fabricación necesitan de sustancias tóxicas, o durante su eliminación pueden provocar daños al medio ambiente.

3.6.2 Evolución del eco–diseño

La evolución del mercado mundial, las demandas ambientales o incluso las demandas de los consumidores, tienden a integrar los diferentes factores ambientales, como también algunos factores empresariales, que se muestran más aun en el diseño de productos.

Esto es lo que implícitamente nos muestra el Eco-diseño, y es en la concepción de estos productos que usamos, donde pueden minimizarse los impactos que producen. Dando lugar a una nueva disciplina de diseño más ecológico de productos o eco-diseño. Tomando mucha importancia el enfoque en la mejora del CICLO DE VIDA del producto, como enfoque en el propio proceso productivo. El ciclo de vida del producto abarca todas las etapas de la vida de un producto, desde la fase de extracción de las materias primas hasta que el producto es desechado.

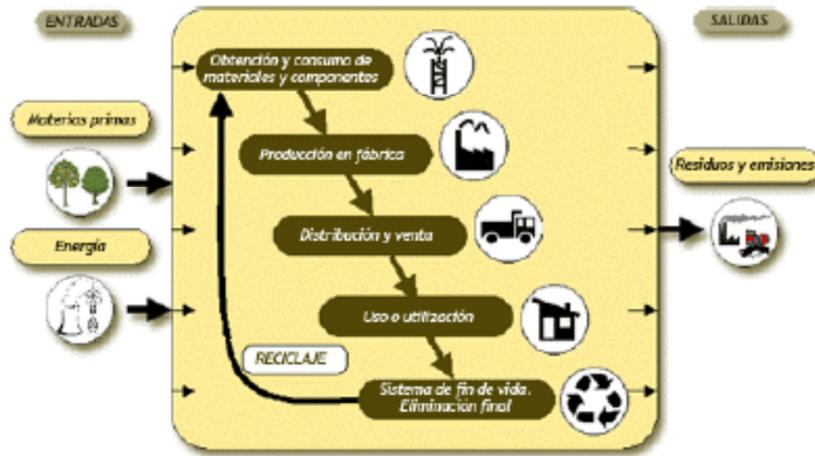


Ilustración 60 ETAPAS DEL ECODISEÑO¹⁶²

3.6.3 Técnicas de eco-diseño

En el año de 1991 se introdujeron a la industria los diferentes indicadores, que de forma individual evaluaba cada uno de los aspectos medio ambientales y desde el ciclo de vida del producto; posterior a ello surgieron las diferentes listas de comprobación y matrices que de manera cualitativa englobaban el ciclo de vida del producto

3.5.3.1 Indicadores ambientales

En 1991 se diseñó algunos parámetros ambientales que permitían encontrar diferentes alternativas de diseño del producto; y para esto la definición que hemos instaurado, nos conlleva a cualificar los aspectos relativos de reciclaje, separación, degradabilidad, etc. A continuación se presenta una tabla como ejemplo de estos indicadores:

Tabla 26 INDICADORES AMBIENTALES

Indicador	Descripción
Reciclabilidad	porcentaje de material reciclado en un producto
Degradabilidad	tiempo que tarde en degradarse la porción degradable de un producto
Separabilidad	relación entre el volumen separable y el volumen total
LCC	coste total incurrido en la vida de un producto
Reciclabilidad potencial	relación entre el volumen de material reciclable y el no reciclable
Emisiones totales y netas	suma de emisiones sólidas, líquidas y gaseosas como consecuencia del producto
Total de emisiones peligrosas	relación entre el peso de contaminantes peligrosos emitidos por unidad de peso total del producto

¹⁶² FUENTE: FERNANDEZ ALCALÁ Jose, *Eco Diseño*; Mejora Ambiental de producto, IHOBE Sociedad Publica de Gestión Ambiental.

3.6.3.2 Matrices de requerimientos

Esta matriz multicapas, donde se analizan los distintos tipos de requerimientos que pueden considerar el desarrollo del producto. Es una matriz netamente cualitativa y descriptiva. Una de las capas corresponden a los distintos requerimientos ambientales, donde las filas se forman por los componentes del sistema, ya sea producto, procesos de fabricación y distribución, para lo cual cada una de las filas se encuentra subdividida en dos ámbitos, tanto en el ámbito de entrada como en el ámbito de salida, y en cada una de las columnas se ubica cada una de las etapas de vida del producto.

Tabla 27 MATRIZ DE REQUERIMIENTOS

		Adquisición materias primas	Procesamiento de materiales	Ensamblaje y fabricación	Uso y servicio	Retirada y recuperación	Tratamiento y retirada final
PRODUCTO	Entrada	Reciclado	Extrusión				
	Salida			Mecanizado	Madera P.	TOTAL	Lavado
PROCESO	Entrada	Lavado	Extrusión				
	Salida			Mecanizado		SCRAP	
DISTRIBUCION	Entrada	Empaques	Embalaje				
	Salida			Armado	Transporte		

Posterior a la creación de estas matrices de tipo cualitativo y descriptivo, donde es estructurada según las filas en los distintos ciclos de vida del producto, como el proceso y se ubica en cada columna los problemas ambientales que se pueda confrontar, con una mínima variación en la estructuración de las columnas de las matrices de Análisis de Procesos.

3.6.2.4 Análisis ambiental del producto

Al realizar las diferentes consideraciones para establecer la contaminación del producto a lo largo de su vida útil, no se ha encontrado problemas ambientales que afecten de una manera directa, sin embargo se debe considerar el diseño estético del mismo, de manera que no cause un impacto paisajístico o contaminación visual, dicho de otra manera esté de acuerdo al ambiente donde nuestro producto cumplirá su función.

Tabla 25 MATRIZ DE ANALISIS AMBIENTAL DE PROCESOS

	PROBLEMAS AMBIENTALES				
Etapas del ciclo de vida	Selección de materiales	Consumo de energía	Residuos Solidos	Emisiones líquidas	Emision de gases
Extracción de recursos	Contaminación en la selección y clasificación del material			Residuos por proceso de lavado de los envases areciclar	
Fabricación (Extrusión)		Maquinaria utilizada para el procesamiento del PET	SCRAP producido en el molido ,la extrusión y el rebarbeado		Producidos en la extrusión por el motivo de diferentes colorantes y aditivos en las botellas
Embalaje			SCRAP producido en el empackado		
Uso					
Reutilización/Reciclaje/ Re-tirada			El SCRAP se lo puede reutilizar en su totalidad		

En la siguiente matriz podemos identificar diferentes impactos que pueden provocar los materiales y energía, la producción de emisiones y residuos diseminados sobre el medio ambiente, en la matriz se constituye en las filas a los ciclos de vida del producto y a los impactos ambientales en las columnas, cualificando a los valores de:

- (1) Como el mínimo valor de impacto ambiental
- (4) Como el de máximo impacto ambiental, y
- (0) Si no provoca ninguno

Siendo la sumatoria de filas o de columnas el valor que correspondería al impacto ambiental. Dentro de esta matriz se asigna con valores

Tabla 28 MATRIZ EPLC¹⁶³

ITEM	REPRESENTACION
1	Reducción de recursos naturales
2	Calentamiento global
3	Ozono
4	Emisiones gaseosas
5	Emisiones líquidas
6	Residuos sólidos
7	Reducción de la biodiversidad
8	Degradación del paisaje
9	Contaminación visual

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Adquisición de materia prima	Extracción de materia prima	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Materia procesada	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Fabricación	Materiales auxiliares	0	0	0	0	3	0	0	0	0
	Consumo energético	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribución	Embalaje	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Energía transporte	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso	Consumo material	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Retirada	Reutilizar/reciclar	0	0	0	1	3	1	0	0	0
	Retirada final	0	1	1	1	0	1	0	1	1

En la matriz EPLC podemos observar claramente que en la adquisición de materia prima, no presenta impacto ambiental considerable, puesto que partimos de material reciclado. También notamos que un impacto de valor considerable es el de materiales auxiliares tal como la sosa cáustica que será utilizada para el lavado del material molido. De la misma manera esta matriz presenta diferentes inconvenientes, el peso otorgado por el conocimiento y experiencia de la persona o aquel equipo evaluador, por lo cual aparecen altos grados de subjetividad. Todos los diferentes impactos ambientales son de la misma forma considerablemente importantes.

¹⁶³ FUENTE: AUTOR

3.7 Conclusiones.

Se puede concluir que una vez obtenido el material reciclado, considerando sus características y propiedades, se puede generar una gran variedad de productos que podrán remplazar a materiales tradicionales como la madera, concreto y hierro, garantizando su funcionalidad e insertándolos al uso cotidiano.

Evaluando las alternativas propuestas, considero que los diseños expuestos son de gran ayuda, ya que en estos he adoptado un eco-diseño para ingeniería donde se pretende concienciar a la sociedad, sobre estrategias y herramientas para obtener productos más ecológicos, es decir, un conjunto de acciones (reciclado) que tienen que ser ejecutadas durante todo el ciclo de vida útil del material para mitigar el impacto ambiental que estos producen.

Como ejemplo uno de los productos del reciclaje, es la madera plástica, la misma que se obtiene mediante la extrusión de los polímeros (polipropileno, polietileno y PET), resultando propiedades químicas y físicas notablemente superior a la madera orgánica además de ser superiormente resistentes a los agentes externos producidas por las condiciones climatológicas. Este es un producto económicamente rentable por sus bajos costos de producción.

CAPITULO IV

ANALISIS ECONÓMICO

4.1 Introducción.

En este capítulo es necesario conocer si es que la implementación de una planta de reciclado de polímeros cuenta o no con los parámetros económicos suficientes y adecuados que garanticen la sostenibilidad financiera en el tiempo. Es por esta razón que presento un estudio económico de la implementación, de manera que me permitan determinar indicadores tales como el TIR (Tasa interna de retorno), VAN (Valor actual Neto), el punto de equilibrio; que son indicadores que nos permiten determinar si el proyecto es factible o no ejecutarlo.

4.2 Diseño de la planta de reciclado:

En el Anexo L se encuentra el diseño de la planta y la distribución para su funcionamiento.

Se tiene proyectado que la empresa de Peletizado para el reciclado, funcione en el sector de Pichicay, la planta tiene un área aproximada de 320m², la misma tendría las siguientes secciones: recepción y clasificación de materia prima, sección de producción que consta de los procesos de molido, lavado, secado, extruido y Peletizado de materia prima, bodega de material Peletizado, sección de mantenimiento, oficina y servicios higiénicos.

4.3 Determinación de costos

A continuación se van a detallar los costos correspondientes a la implementación de la planta de reciclado, tales como, estructura, maquinaria, etc. Estos valores fueron obtenidos a base de cotizaciones.

4.3.1 Costos de inversión (Inversiones)

Estos son costos iniciales del proyecto, consiste en rubros para la construcción de la planta y la adquisición de equipos, los mismos que son:

Costos de Infraestructura:

Costo de Infraestructura de la Planta de reciclado			
Cantidad	Denominación	Costo sin IVA	Costo total + IVA
1	Infraestructura de la planta de reciclado de plástico	76120,00	85254,40
1	Instalación eléctrica de la planta de reciclado de plástico	28633,78	32538,39
1	Terreno 300 metros cuadrados	0,00	0,00
		Total	117792,79

Costo de los equipos de la planta de Peletizado.			
Cantidad	Denominación	Costo unitario en planta. \$	Costo Total + IVA
1	Unidad completa de Extrusión–Peletizado	85000	95200,00
1	Molino de cuchillas Mexiplast para moler plástico.	18650	18650,00
1	Lavadora de plástico molido	4000	4480,00
1	Horno se secado de plástico.	4000	4480,00
2	Ventiladores	500	1000,00
	Equipos informáticos		2902,02
	Equipos de Oficina		1000,00
		Total	127712,02

Costo de los equipos de la planta para madera plástica.			
Cantidad	Denominación	Costo unitario en planta. \$	Costo Total + IVA
1	Maquina “HEATmx” mod. 4.8/1C para fabricar tableros Plásticos.	104110	104110,00
1	Molino de cuchillas Mexiplast para moler plástico y una Sierra circular HEATmxS para tableros de plástico; disco de 12" y 14"	31950	31950,00
	Equipos informáticos		2902,02
	Equipos de Oficina		1000,00
		Total	139962,02

Todos los rubros anteriormente tabulados, se encuentran detallados en el Anexo M, en base especificaciones técnicas y cotizaciones de las mismas. El valor relacionado con el costo

de terreno no se está tomando en consideración ya que se planea que la empresa funcionaria dentro del terreno propio que posee el EMAC en Pichicay.

4.3.2 Costos de operación

Para determinar los costos operativos de las plantas de procesamiento de plástico, se va a indicar la cantidad de trabajadores que requiere la planta y las funciones que desempeñarían.

Personal de planta de peletizado	
Cantidad	Cargo
4	Personal para separación de plásticos.
2	Personal para molido de plástico.
2	Personal para lavado de plástico.
2	Personal para secado de plástico molido.
1	Personal para operación de extrusora.
2	Personal para almacenamiento.
1	Secretaria.
1	Jefe de producción.
1	Ing. Mecánico.

Personal de planta de madera plástica	
Cantidad	Cargo
4	Personal para separación de plásticos.
2	Personal para molido de plástico.
2	Personal para operación de máquina.
2	Personal para almacenamiento.
2	Personal para cortado de tabloncillos plásticos.
1	Secretaria.
1	Jefe de producción.
1	Ing. Mecánico.

Personal ARUC	
Cantidad	Cargo
4	Personal de recicladores tiempo completo
14	Personal de reciclado temporales
1	Contadora

Para la determinación de los gastos operativos, se realiza un desglose de los sueldos del personal que laboraría en la empresa. Estos valores son basados en tablas sectoriales del

estado¹⁶⁴ pero también se ha realizado un ajuste en los sueldos del jefe de producción y el Jefe de mantenimiento, por medio de averiguaciones de los sueldos en la industria de Cuenca.

Rubros de personal de planta de reciclado		
Cargo	Sueldo Unitario En \$	<i>Sueldo con beneficios (Vacaciones, Decimos, aporte patronal.)</i>
Personal para procesamiento y almacenamiento.	292,87	414,57
Secretaria (Contadora)	309,12	423,27
Jefe de producción	600	822,21
Ing. Mecánico	600	822,21

Rubros de personal del ARUC		
Cargo	Sueldo Unitario En \$	<i>Sueldo con beneficios (Vacaciones, Decimos, aporte patronal.)</i>
Personal de recicladores tiempo completo	292,87	
Personal de reciclado temporales	80,00	800,00
Contadora	150,00	150,00

Los rubros especificados en la tabla (Rubros del personal del ARUC) son datos facilitados por dicha empresa, para el análisis económico.

4.3.2.1 Cantidad de insumos a utilizarse en la producción.

En este ítem, especificaremos la cantidad de personal que prestará sus servicios en la planta de reciclado y la cantidad anual de materia prima (PET) en toneladas.

El consumo semanal de plástico PET determinado en el capítulo 1, que es de 8.58t, lo que significa que el consumo de plástico anual es de 411.84t.

En el cuadro correspondiente a la cantidad de insumos a utilizarse por año que se encuentra en el Anexo N (Cantidad de insumos a utilizarse en la Producción), el valor especificado en el año 0, a lo que corresponde como al plástico PET que es la materia prima, se ha colocado la mitad, ya que se estima que la planta de reciclado comience a trabajar pasado los seis primeros meses que corresponde la puesta a punto de la misma.

¹⁶⁴ **FUENTE:** MINISTERIO DE REALACIONES LABORALES; *Salarios Mínimos Sectoriales 2012*; http://www.mrl.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=296: *salarios-minimos-sectoriales&catid=56, 2012*

También se encuentra establecida la cantidad de colaboradores que tiene la planta de reciclado, en su respectiva función.

4.3.2.2 Costo unitario de procesamiento en dólares americanos.

Los costos corresponden al total de dinero a invertir anualmente en todos los rubros para el normal funcionamiento de la planta de reciclado, como nómina de empleados y también, la materia prima del proceso.

El sistema de trabajo que tiene la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC, hace que la materia prima no tenga ningún valor, por el servicio de recolección de plástico de la Ciudad.

Para el cálculo se ha puesto un valor por kilogramo de plástico reciclado PET, el cual los trabajadores del ARUC y el AREV pagan por ello, este valor correspondiente a 15 centavos. Que para las proyecciones, los mismos pueden ser remunerados, dotando a la ciudadanía de materiales (Fundas de basura) para ayudarles a la recolección del plástico.

Entonces, en la tabla que se encuentra a continuación, se menciona el precio por tonelada de plástico y el valor de los sueldos anuales, los mismos que se obtienen con la multiplicación mensual por doce. Anexo N (Costos unitarios de procesamiento en dólares americanos)

4.3.2.3 Costo total del procesamiento por año.

Estos valores son calculados por medio de las dos tablas anteriormente mencionadas, la misma corresponde al promedio:

CT: Costo total del procesamiento por año

CI: Cantidad de insumos a utilizarse en la producción.

CUP: Costo unitario de procesamiento en dólares americanos.

Entonces:

$$CT = CI \times CUP$$

Obteniendo el costo total por año, realizando la sumatoria de gastos de cada rubro por mes. Anexo N (Costo total de procesamiento por año).

Tabla 29 RESUMEN COSTO TOTAL PROCESAMIENTO POR AÑO¹⁶⁵

COSTO TOTAL PROCESAMIENTO			
AÑO	PELETIZADO	MADERA PLÁSTICA	ARUC
0	50263,14	50236,92	57848,88
1	134896,19	134841,13	73962,65
2	138552,20	138494,39	75500,78
3	142391,01	142330,31	77115,82
4	146421,76	146358,02	77811,61
5	150654,05	150587,12	80592,19
6	155097,96	155027,68	82461,80
7	159764,05	159690,26	84424,89
8	164663,46	164585,98	86486,14
9	169807,83	169726,48	88650,44
10	175209,42	175124,00	90922,96

4.4 Inversiones.

Tabla 30 RESUMEN TOTAL DE INVERSION¹⁶⁶

TOTAL DE INVERSIONES		
PELETIZADO	MADERA PLASTICA	ARUC
232954.81	263234,81	2000,00

En cuadro siguiente se indica la inversión total para la construcción y equipamiento de la planta de reciclado de plástico. Anexo N (Inversiones).

4.5 Depreciación

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes, distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos necesarios para la reposición de los mismos, de manera que se conserve la capacidad operativa o productiva del proyecto, su distribución debe hacerse empleando los criterios de tiempo y productividad. El método utilizado en este análisis es de la línea recta, en el cuál el monto de la depreciación es

¹⁶⁵ FUENTE: AUTOR

¹⁶⁶ FUENTE: AUTOR

igual en cada año, es decir es un costo fijo, pero en lo especificado como año cero la depreciación es solo la mitad debido a que toda la maquinaria comienza a funcionar pasado los seis primeros meses de iniciado el proyecto por cuestiones de implementación. Anexo N (Depreciación).

Los valores de depreciación con los que se hace el análisis económico del presente proyecto, toman en cuenta los porcentajes establecidos en la ley Ecuatoriana y en los principios de contabilidad generalmente aceptados.

4.6 Gastos Generales.

Dentro de este rubro se encuentran los valores que se estiman se consumirá, tales como:

Químicos: esto hace referencia al costo de la sosa caustica, que se utiliza en el proceso de limpieza y, de ácido (Sulfúrico o Clorhídrico) para que el agua ya utilizada pueda ser desechada hacia la alcantarilla.

Agua: es el costo que se tiene que pagar servicio de agua potable.

Aceite: hace referencia al gasto por intercambio de aceite dependiendo de las recomendaciones del fabricante de la máquina peletizadora.

Costo por mantenimiento: El costo del mantenimiento incluye la reparación de mallas filtrantes para el Peletizado, cambio de boquillas de extrusión, afilado de cuchillas de molino.

Energía eléctrica: corresponde al gasto por consumo eléctrico total de la planta.

En general, lo anterior nos permite observar que los costos fijos son mayores a los variables, siendo los costos fijos aquellos que no varían durante un período de tiempo determinado, mientras que los costos variables dependen del nivel de producción, esto es, lo relacionado principalmente con el uso del plástico reciclado. En el cuadro gastos generales del ANEXO N se encuentran los valores correspondientes a cada concepto de costo antes señalados.

Tabla 31 RESUMEN TOTAL GASTOS GENERALES

TOTAL GASTOS GENERALES		
AÑO	PELITIZADO y MADERA PLASTICA	ARUC
0	6500	400
1	13500	3000
2 en adelante	16000	3000

4.7 Análisis financiero

El análisis financiero, tiene como objetivo brindar información acerca de los resultados de operaciones y flujos de efectivo, los cuales serán útiles a la hora de definir la viabilidad del proyecto, los estados financieros también presentan el resultado de las operaciones del proyecto, tales como; activos, pasivos y capital contable al finalizar el periodo proyectado.

El objetivo del proyecto, es en primer lugar reinsertar el material plástico para la producción de nuevos productos contribuyendo a la protección del ambiente, por el impacto que estos producen, cuyos efectos son el daño del paisaje por su larga vida al no ser material biodegradable y la contaminación. Así también, por medio del proceso de Peletizado o generación de madera plástica, se permite la generación de valor agregado al producto que los recicladores venden, con lo que adicionalmente se contribuye también a la generación de fuentes de empleo y al mejoramiento de los ingresos de las familias directamente involucradas en el proceso de reciclaje y producción. La viabilidad del proyecto se fundamenta en el reciclado de material polimérico y su posterior transformación, utilizando el sistema anteriormente estudiado que es el sistema mecánico para su reciclaje.

Se estima que el material reciclado, aparte de ser comercializado hacia las industrias de plásticos para que lo ocupen como materia prima para productos que no ameriten ser procesados con material virgen, también pueda ser procesado para la generación de madera plástica para la construcción de elementos tales como: parques lineales, juegos infantiles y también en productos que puedan reemplazar a otros ya existentes como macetas de madera.

El precio en el que la gente de las asociaciones de recicladores de plástico comercializa el PET que es reciclado de una manera artesanal, que consiste en la separación y posterior compactación, como plástico duro (PP, PET, PVC) compran en \$0.16 y venden en

\$0.6, y lo que ellos consideran plástico blando (PEAD, PEBD) es de \$0.15 para la compra y ellos lo venden en un valor de \$0.30

Para definir cuál es la ganancia que se obtiene con el sistema de reciclado de plástico, aparte del valor monetario que este pueda generar con la reinsertión, es el valor del cuidado medio ambiental y social que este involucra.

En la tabla del ANEXO N (Determinación de Costo por kilogramo), el cual puede ser determinado colocando el margen de utilidad anual de las plantas de reciclado o comercializando el plástico reciclado al precio actual que lo realizan las empresas que comercializan el reciclado actualmente.

Se ha realizado el análisis del precio al que se podría comercializar el kilo de material reciclado, utilizando todos los rubros correspondientes a todos los gastos anuales y generando un margen de utilidad para la empresa.

<i>Empresa</i>	<i>Costo unitario por kilo de material reciclado</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Estado del material comercializado</i>
Peletizado	\$ 0.48	50%	Peletizado
Madera Plástica	\$ 0.49	50%	Tablones
ARUC	\$ 0.60	50%	Separado y compactado

Si el material previamente procesado se comercializara al precio al que vende la empresa ARUC el material reciclado, la ganancia anual sería.

<i>Empresa</i>	<i>Costo unitario neto</i>	<i>Ganancia / Kg</i>	<i>Cantidad a producir Kg/ año</i>	<i>Utilidad anual neta</i>
Peletizado	\$ 0.60	0.28	372000	104160
Madera Plástica	\$ 0.60	0.27	372000	100440
ARUC	\$ 0.60	0.30	260000	78000

Analizando los valores anteriormente tabulados es de mayor beneficio, comercializar el plástico previamente procesado, prestando un mejor servicio y garantizando su uso inmediato. También podemos observar que se podría competir en el mercado, ya que se podría abaratar los costos del material.

4.8 Flujo de fondos

Constituye uno de los elementos importantes del estudio de un proyecto, pues a partir de los resultados obtenidos en el flujo de fondos se evaluará la conveniencia o no de la implementación de la propuesta, la información básica para la construcción de un flujo de fondos proviene de los estudios de mercado, técnicos, organizacional y también de los cálculos de los beneficios, es necesario, incorporar a la información anterior, datos adicionales relacionados, con los efectos de la depreciación, amortización, valor residual, utilidades y pérdidas. Estos valores se encuentran en el ANEXO N (Flujo de Fondos).

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

La evaluación económica del proyecto nos indicará la rentabilidad del mismo, por cual permitirá tomar una decisión sobre si se ejecuta o no el proyecto, su análisis tiene que basarse en una comparación establecida entre la cantidad que el dinero a invertirse habría podido llegar a producir con otra alternativa, es decir hay que evaluar la rentabilidad de la inversión al costo de sacrificar las oportunidades de utilizar el dinero para llevar a cabo otras inversiones.

Los criterios a utilizar para la toma de decisiones son:

- Valor actual neto.
- Tasa interna de retorno.
- Cálculo del punto de equilibrio.

4.8.1 El valor actual neto (V.A.N.).

Es un método que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual mediante una tasa de interés, todos los flujos de caja futuros del proyecto, a este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que la cantidad obtenida es el valor actual neto del proyecto.

Para este tipo de proyectos se utiliza la tasa de recuperación mínima atractiva, es decir, aquella tasa de rendimiento mínimo que se espera obtener, para otros casos se puede utilizar también la tasa de inflación del Banco Central del Ecuador que corresponde a 3.88 % o también la tasa de interés promedio anual básica para este tipo de inversión, para nuestro caso

se ha calculado a una tasa del 10% como aquella tasa de rendimiento mínima deseable. Por lo tanto, su cálculo se realiza mediante:

$$V.A.N. = \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Dónde:

Fn = flujo de caja en un periodo (n)

i = tasa de interés utilizada o “tasa de recuperación mínima atractiva” que para nuestro caso es el 10%.

En el ANEXO N (Valor actual neto por periodo) calculado para un periodo de diez años.

Cuando el VAN > 0 se dice que el proyecto es rentable, por lo tanto se recomienda la ejecución de cualquiera de las dos propuestas de reciclado de plástico.

4.8.2 La tasa interna de retorno (T.I.R.)

Indica la tasa de interés para la cual el proyecto será aceptable, por lo tanto mide la rentabilidad del dinero mantenido dentro del proyecto

Para el cálculo del TIR se ha determinado la inversión inicial del proyecto y los flujos de efectivo para cada uno de los periodos que dura el proyecto. Por lo tanto la tasa de interés de oportunidad (i_o), se obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$V.A.N. = 0 = \frac{Fn}{(1+i_o)^n}$$

Para este proyecto se obtiene un TIR del 50%, que es mayor a la tasa de recuperación mínima atractiva, lo que nos indica que el proyecto es viable. Esto se puede apreciar en el cuadro ANEXO N (Flujo de Fondos)

4.8.3 Relación beneficio costo (B/C)

Es un método cuantitativo cuyo objetivo es determinar si los beneficios obtenidos superan sus costos y en qué cantidad. La relación B/C es el indicador que se obtiene

dividiendo el valor actual de los beneficios brutos y el valor actual de los costos, estos valores calculados se encuentran en el ANEXO N (Relación beneficio/costo)

La relación B/C es > 1 , significa que el proyecto es rentable, por lo tanto se recomienda su ejecución.

De acuerdo a los indicadores anteriores se establece que el proyecto es rentable.

4.8.4 Cálculo del punto de equilibrio

El análisis del punto de equilibrio es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, los costos variables y los beneficios.

El punto de equilibrio es el nivel de producción en el que los beneficios por ventas son exactamente iguales a la suma de los costos fijos y los variables. Esto significa que en aquel nivel de ventas, el proyecto únicamente logra cubrir sus costos. Se calcula con:

$$Punto\ de\ Equilibrio = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{P*Q}}$$

Dónde:

CF = Costos fijos
CV = Costos variables
P = Precio unitario
Q = Cantidad vendida total

En el ANEXO N (Calculo del punto de equilibrio), se encuentran los valores calculados de cada una de las propuestas.

4.9 Conclusiones:

Se puede concluir que el proyecto de la implementación de una planta para el reciclado de plástico en la ciudad de Cuenca, es viable, ya que en base a los cálculos realizados se puede observar que la misma tendería a tener un ingreso satisfactorio con la venta del plástico reciclado.

También la importancia de introducir al plástico reciclado como materia prima en algunos productos, lo cual ayuda al mejorar el estilo de vida y al cuidado del medioambiente, lo cual indica que es otro de los valores de ganancia que obtiene la ciudadanía.

Análisis económico comparativo.

<i>Parámetros de evaluación</i>	<i>Reciclado artesanal ARUC</i>	<i>Reciclado peletizado</i>	<i>Madera plástica</i>
<i>TIR</i>	13.25%	59%	47%
<i>VAN</i>	41198.65	375901.05	325937.17
<i>Relación Costo beneficio</i>	1.25	1.55	1.55
<i>Punto de Equilibrio</i>	82357.87	591707.07	643093.51

Observando los resultados obtenidos de los tres análisis económicos, las opciones más rentables para el reciclado de plásticos, son los procesos de peletizado y de eco madera. Estos procesos aparte de ser un factor rentable económicamente, generan puestos de trabajo. El proceso con más valor agregado es la producción de madera plástica, y que por medio de este proceso podemos ayudar a evitar la tala de árboles ya que es un producto que remplazaría a la madera natural tradicional.

Como se indicó también en el ítem 4.7 del capítulo IV, el material plástico peletizado o en madera plástica se podría comercializar al mismo precio que comercializa el mercado que es de \$0,60, lo cual permitiría un mayor ingreso anual a lo referente a utilidades de la empresa, haciendo que la misma sea más rentable. A continuación se especifica el resumen.

<i>Empresa</i>	<i>Ganancia / Kg</i>	<i>Utilidad anual neta</i>
Peletizado	0.28	104160
Madera Plástica	0.27	100440
ARUC	0.30	78000

CONCLUSIÓN GENERAL

Con el presente trabajo de tesis realizado podemos concluir que es posible eliminar o mitigar la contaminación producida por desperdicios sólidos como el PET aplicando la ciencia y tecnología para poder procesar dicho material, lo cual favorece a diferentes sectores industriales del país desde un punto de vista ambiental como de la construcción de nuevos productos obtenidos del reciclado que presentan mejores propiedades que los tradicionales y basados en un eco-diseño para cumplir con las exigencias requeridas. Se considera que es necesario observar este trabajo no solo desde un punto de vista de limpieza pública y mejoramiento ambiental, sino darle una importancia para generar una nueva cultura que nos lleve a un manejo adecuado de los desperdicios de manera que sea sustentable para un beneficio común.

RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico realizado en el capítulo 1 se determinó que el reciclado de residuos sólidos está en función del PET, por ser los envases de este material los que generan el mayor volumen de desperdicio. Por tal motivo se recomienda seguir el procedimiento mecánico de reciclado presentado en el capítulo 2, donde se hace un análisis del procesamiento considerando el volumen diario a ser tratado como de su posible crecimiento en el tiempo, proponiendo un sistema de extrusión adecuado para obtener el flujo másico necesario requerido.

En el capítulo 3 se desarrolla y recomienda una propuesta de productos a partir de material reciclado PET donde se realiza un análisis de resistencia de los elementos y un análisis de eco diseño que presenta armonía paisajística volviéndose amigable con el entorno.

En la planta de reciclado se debe considerar el manejo adecuado en la implementación y la posterior operación con personal idóneo con conocimientos necesarios en transformación de polímeros y mantenimiento mecánico que garantice el funcionamiento correcto de los equipos propuestos.

El presente estudio realiza un análisis económico en el cual se contempla la inversión para la implementación y la utilidad obtenida, por tal motivo se recomienda el desarrollo de este proyecto por beneficio de la sociedad y la institución en mira de presentar una imagen de responsabilidad ante la contaminación ambiental.

Tomando como referencia el presente estudio se recomienda realizar convenios interinstitucionales para el desarrollo de nuevos proyectos, los cuales pueden ser enfocados a otros materiales, tales como cauchos, vidrio, y demás materiales plásticos que son desechados diariamente por la ciudadanía y la industria cuencana, que podrían servir de materia prima para otras aplicaciones en las que no sea necesario material virgen.

BIBLIOGRAFIA

AGUAYO Francisco y SOLTERO Víctor; *Metodología de Diseño Industrial*; Edición ilustrada, Editorial RA-MA, España, 2002.

ARANDEZ, José, BILBAO, Javier, LOPEZ, Danilo, “Reciclado de residuos Plásticos”, Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 5, Marzo, 2004, Consultado: Octubre 2010.

<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>

AUTODESK Manufacturing; *Digital Prototyping: Preguntas y respuestas*; Consultado: Octubre 2011.

http://images.autodesk.com/emea_s_main/files/digital_prototype_faqs_es.pdf

BEER Ferdinand P y otros; *Mecánica de Materiales*; 4ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2007.

BELTRAN M. y MARCILLA A.; *Tecnología de los Polímeros*.

iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf

BERHO Matías y PISONI Matías; *Recomendaciones para RECICLAR*, Metodología- Diseño Industrial, FADU – UBA, Noviembre, 2007.

es.scribd.com/doc/81014951/Recomendaciones-Para-Reciclar-Pet

BUDYNAS Richard G. y NISBETT J. Keith; *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*; 8ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, México 2008.

CENGEL Yunus A.; *Transferencia de Calor*; 2ª Edición, Editorial Mc Graw Hill, S.A., México 2004.

Cuenca ECUADOR, Consultado Mayo 2011.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_\(Ecuador\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_(Ecuador))

Cuenca ECUADOR, Consultado: Mayo, 2011

http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_cuenca

EMAC, Departamento Técnico, Cuenca 2011.

EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA, *Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el Cantón Cuenca*, Cuenca, 2003.

FERNANDEZ ALCALÁ Jose, *Eco Diseño*; Mejora Ambiental de producto, IHOBE Sociedad Publica de Gestión Ambiental, Consultado: Agosto del 2011.

<http://www.gipuzkoa.net/ingurumena/archivos/ihobe.pdf>

GARCÍ Mariana y SALGADO Felicitas, *Reciclado de PET Alternativas de comercialización*, Universidad de Buenos Aires Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Consultado en 1 de agosto del 2011.

www.arpet.org/docs/Reciclado-de-PET-Alternativas-de-comercializacion-UBA.pdf.

GEORGE TECHOBANOGLOUS-HILARY THEISEN-SAMUEL A. VIGIL; *Gestión Integral de Residuos Sólidos*; Volumen II, Editorial Mcgraw Hill Interamericana, México, 1998.

GERE James; *Mecánica de Materiales*; 4ª Edición, Thompson Editores, México D1998.

GIDING MACHINE INC., *MAQUINAS EXTRUSORAS*, Consultado: Agosto 2011.

<http://www.rubber-machinery-b2b.com/es/extruder-machines.html>.

GILES Harold F. JR.; *Extrusión: The Definitive Processing Guide and Handbook*; Volumen 3, Editorial William Andrew Publishing; Estados Unidos de Norte América; 2005

GRAETZ, H. A.; *Suelos y fertilización*; Manuales para educación agropecuaria: suelos y agua. No. 34, 2ª Edición, Editorial Trillas, México 2002.

Jefatura de Higiene y Abasto, ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LOJA, Consultado Diciembre 2011.

KUADRO; *Tableros de Madera Plástica*.

www.kuadro.mx/tableros-de-madera-plastica.php

KURT Gieck y KURT Reiner; *Manual de fórmulas técnicas*; 19ª Edición, Editorial Alfaomega, México, 2003.

LIND Douglas A y otros; *Estadística Para Administración y Economía*; 11ª Edición, Alfaomega Grupo Editor S.A., Bogotá, 2004.

LLOVERAS MACIÁ Joaquim; *El Ecodiseño en Ingeniería*; Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Consultado: Agosto del 2011.

<http://www.encuentrosmultidisciplinares.org/Revistan%C2%BA25/Joaquim%20Lloveras%20Maci%C3%A0.pdf>

MADERA PLASTICA MADERE, Consultado: Septiembre 2011.

<http://www.madere.es/4652.html>

MORTON - JONES; *Procesamiento de plásticos*; 5ª Reimpresión, Limusa, S.A.; México, 2003.

MOTT Robert L.; *Diseño de elementos de máquinas*; 4ª Edición, Editorial Pearson Educación de México, 2006.

PRODUCOL S.A. *Madera Plástica*, Consultado: Septiembre 2011.

<http://www.producol.net/>

Problemas de producción atribuibles al conjunto tornillo-barril de extrusión, Consultado: Julio 2011.

http://www.avipla.org/uploads/ponencias/PROBLEMAS_DE_PRODUCCION_ATRIBUIBLES_AL_CONJUNTO_TORNILLO.pdf

PROTOCOLO CURSO DE MATERIALES: *LAMINACION*, Facultad de Ingeniería Industrial- Laboratorio de Producción: Edición 2008-2

PYTEL Andrew y SINGER Ferdinand L; *Resistencia de Materiales*; 4ª Edición, Editorial Harla, México, 1994.

REXCOPLAST INTERNACIONAL; *Madera Plastica*, Consultada : Septiembre 2011.

<http://www.rexcointernacional.com/propiedades.htm>

ROSATTO Dominick; *Blow Molding Handbook*, 2ª Edición, Carl Hanser Verlag; Munich, 2004

SAVGORODNY V.K; *Transformación De Plásticos*; 4ª Edición, Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona, 1973.

TECHOBANOGLIOUS George y otros; *Gestión Integral de Residuos Sólidos*; Volumen I, Editorial Mcgraw Hill Interamericana, México, 1998.

VICENT VELA María y otros; *Ciencia y Tecnología de los Polímeros*; Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2006.

ANEXOS

ANEXOS A

TABLAS DE MUESTREO DE PROCENTAJES DE PLASTICO

Número de Muestras	Muestra #1		Muestra #2		Muestra #3		Muestra #4		Muestra #5		Promedio # 1
	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	
PET	0,41	8,72		0,00		0,00	0,91	81,98	0,68	57,63	29,67
PELDL(Fundas)	0,5	10,64	1,5	57,03	0,1	16,67	0,2	18,02		0,00	20,47
PEHD	0,33	7,02	0,8	30,42	0,5	83,33		0,00	0,5	42,37	32,63
PELD		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PP		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PS		0,00	0,11	4,18		0,00		0,00		0,00	0,84
PVC	3,46	73,62		0,00		0,00		0,00		0,00	14,72
Espuma		0	0,22	8,37		0,00		0,00		0,00	1,67
Total peso	4,7		2,63		0,6		1,11		1,18		100,00

Número de Muestras	Muestra #6		Muestra #7		Muestra #8		Muestra #9		Muestra #10		Promedio # 2
	P (Kg)	%	P (Kg)	%							
PET	0,56	83,58	0,48	57,14	0,46	46,46		0,00	0,185	17,05	40,85
PELDL(Fundas)	0,11	16,42	0,08	9,52	0,38	38,38	0,24	48,98	0,67	61,75	35,01
PEHD		0,00	0,28	33,33		0,00	0,25	51,02	0,23	21,20	21,11
PELD		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PP		0,00		0,00	0,04	4,04		0,00		0,00	0,81
PS		0,00		0,00	0,11	11,11		0,00		0,00	2,22
PVC		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Espuma		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Total peso	0,67		0,84		0,99		0,49		1,085		100,00

Número de Muestras	Muestra #11		Muestra #12		Muestra #13		Muestra #14		Muestra #15		Promedio # 3
	P (Kg)	%	P (Kg)	%							
PET	0,12	40,00		0,00	0,13	36,11		0,00	0,34	55,74	26,37
PELDL(Fundas)	0,08	26,67		0,00	0,08	22,22	0,16	100,00	0,03	4,92	30,76
PEHD	0,1	33,33	0,23	51,11	0,15	41,67		0,00	0,24	39,34	33,09
PELD		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PP		0,00	0,22	48,89		0,00		0,00		0,00	9,78
PS		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PVC		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Espuma		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Total peso	0,3		0,45		0,36		0,16		0,61		100,00

Número de Muestras	Muestra #16		Muestra #17		Muestra #18		Muestra #19		Muestra #20		Promedio # 4
	P (Kg)	%									
<i>PET</i>	2,19	26,55	2	26,95	1,48	42,53	0,6	59,41	0,52	52,00	41,49
<i>PELDL(Fundas)</i>	3,59	43,52	3,43	46,23	1	28,74		0,00	0,3	30,00	29,70
<i>PEHD</i>	1,47	17,82	1	13,48	0,68	19,54	0,41	40,59		0,00	18,29
<i>PELD</i>	0,4	4,85	0,2	2,70		0,00		0,00		0,00	1,51
<i>PP</i>	0,5	6,06	0,58	7,82	0,2	5,75		0,00	0,03	3,00	4,52
<i>PS</i>	0,1	1,21	0,21	2,83		0,00		0,00	0,15	15,00	3,81
<i>PVC</i>		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
<i>Espuma</i>		0,00		0,00	0,12	3,45		0,00		0,00	0,69
<i>Total peso</i>	8,25		7,42		3,48		1,01		1		100,00

Número de Muestras	Muestra #21		Muestra #22		Muestra #23		Muestra #24		Muestra #25		Promedio # 5
	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	
<i>PET</i>		0,00		0,00		0,00	0,44	44,00	0,71	57,26	20,25
<i>PELDL(Fundas)</i>	0,32	41,56		0,00	0,3	100,00	0,06	6,00		0,00	29,51
<i>PEHD</i>	0,45	58,44	0,28	57,14		0,00		0,00	0,53	42,74	31,67
<i>PELD</i>		0,00		0,00		0,00	0,3	30,00		0,00	6,00
<i>PP</i>		0,00	0,21	42,86		0,00	0,2	20,00		0,00	12,57
<i>PS</i>		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
<i>PVC</i>		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
<i>Espuma</i>		0,00		0,00		0,00		0,00			0,00
<i>Total peso</i>	0,77		0,49		0,3		1		1,24		100,00

Número de Muestras	Muestra #26		Muestra #27		Muestra #28		Muestra #29		Muestra #30		Promedio # 6
	P (Kg)	%									
<i>PET</i>		0,00	0,81	22,75	1,12	76,19	2,3	37,70		0,00	27,33
<i>PELDL(Fundas)</i>	1,63	52,58	0,15	4,21	0,35	23,81	0,8	13,11	0,2	21,28	23,00
<i>PEHD</i>	0,9	29,03	0,5	14,04		0,00	2	32,79	0,74	78,72	30,92
<i>PELD</i>		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
<i>PP</i>	0,11	3,55		0,00		0,00	0,6	9,84		0,00	2,68
<i>PS</i>	0,16	5,16		0,00		0,00		0,00		0,00	1,03
<i>PVC</i>		0,00	2,1	58,99		0,00	0,4	6,56		0,00	13,11
<i>Espuma</i>	0,3	9,68		0,00		0,00		0,00		0,00	1,94
<i>Total peso</i>	3,1		3,56		1,47		6,1		0,94		100,00

Número de Muestras	Muestra #31		Muestra #32		Muestra #33		Muestra #34		Muestra #35		Promedio # 7
	P (Kg)	%									
PET	2	42,55		0,00	1,86	54,23	1,2	51,95	3,2	56,14	40,97
PELDL(Fundas)		0,00	1,65	71,74	1,25	36,44		0,00	1,3	22,81	26,20
PEHD	1,3	27,66		0,00	0,32	9,33		0,00		0,00	7,40
PELD		0,00	0,25	10,87		0,00	0,7	30,30		0,00	8,23
PP	0,7	14,89	0,1	4,35		0,00		0,00		0,00	3,85
PS	0,3	6,38	0,3	13,04		0,00	0,41	17,75	1	17,54	10,94
PVC		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Espuma	0,4	8,51		0,00		0,00		0,00	0,2	3,51	2,40
Total peso	4,7		2,3		3,43		2,31		5,7		100,00

Número de Muestras	Muestra #36		Muestra #37		Muestra #38		Muestra #39		Muestra #40		Promedio # 8
	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	
PET		0,00	3	89,55		0,00	0,71	58,68	0,86	55,13	40,67
PELDL(Fundas)	0,44	100,00		0,00	0,92	16,97	0,5	41,32	0,1	6,41	32,94
PEHD		0,00		0,00		0,00		0,00	0,6	38,46	7,69
PELD		0,00	0,35	10,45		0,00		0,00		0,00	2,09
PP		0,00		0,00	1	18,45		0,00		0,00	3,69
PS		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PVC		0,00		0,00	3,5	64,58		0,00		0,00	12,92
Espuma		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Total peso	0,44		3,35		5,42		1,21		1,56		100,00

Número de Muestras	Muestra #41		Muestra #42		Muestra #43		Muestra #44		Muestra #45		Promedio # 9
	P (Kg)	%									
PET		0,00	1,28	52,67	2,7	65,22	1,64	41,00		0,00	31,78
PELDL(Fundas)	0,62	62,63	0,73	30,04	1,08	26,09	0,2	5,00	0,3	9,43	26,64
PEHD		0,00		0,00		0,00	1,3	32,50	1,2	37,74	14,05
PELD		0,00		0,00	0,36	8,70		0,00		0,00	1,74
PP	0,37	37,37		0,00		0,00	0,86	21,50	1,38	43,40	20,45
PS		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PVC		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Espuma		0,00	0,42	17,28		0,00		0,00	0,3	9,43	5,34
Total peso	0,99		2,43		4,14		4		3,18		100,00

Número de Muestras	Muestra #46		Muestra #47		Muestra #48		Muestra #49		Muestra #50		Promedio # 10
	P (Kg)	%									
<i>PET</i>	1,18	61,78		0,00	2	58,82		0,00	2,3	55,29	35,18
<i>PELDL(Fundas)</i>	0,53	27,75	0,7	33,33		0,00	0,66	23,83	0,8	19,23	20,83
<i>PEHD</i>		0,00	0,2	9,52		0,00	1,21	43,68		0,00	10,64
<i>PELD</i>		0,00		0,00	0,4	11,76		0,00	0,35	8,41	4,04
<i>PP</i>		0,00	1	47,62		0,00		0,00		0,00	9,52
<i>PS</i>	0,2	10,47		0,00		0,00	0,9	32,49	0,41	9,86	10,56
<i>PVC</i>		0,00		0,00	1	29,41		0,00		0,00	5,88
<i>Espuma</i>		0,00	0,2	9,52		0,00		0,00	0,3	7,21	3,35
<i>Total peso</i>	1,91		2,1		3,4		2,77		4,16		100,00

Número de Muestras	Muestra #51		Muestra #52		Muestra #53		Muestra #54		Muestra #55		Promedio # 11
	P (Kg)	%									
<i>PET</i>	1,1	75,34		0,00	1,4	53,64	0,87	71,90		0,00	40,18
<i>PELDL(Fundas)</i>	0,36	24,66	0,25	34,72		0,00	0,12	9,92	1,53	52,76	24,41
<i>PEHD</i>		0,00		0,00		0,00		0,00	0,87	30,00	6,00
<i>PELD</i>		0,00		0,00	0,5	19,16		0,00		0,00	3,83
<i>PP</i>		0,00		0,00		0,00		0,00	0,5	17,24	3,45
<i>PS</i>		0,00		0,00		0,00	0,22	18,18		0,00	3,64
<i>PVC</i>		0,00	0,47	65,28		0,00		0,00		0,00	13,06
<i>Espuma</i>		0,00		0,00	0,71	27,20		0,00		0,00	5,44
<i>Total peso</i>	1,46		0,72		2,61		1,21		2,9		100,00

Número de Muestras	Muestra #56		Muestra #57		Muestra #58		Muestra #59		Muestra #60		Promedio # 12
	P (Kg)	%									
<i>PET</i>	0,44	31,65		0,00		0,00	1,11	64,53	0,77	45,83	28,40
<i>PELDL(Fundas)</i>	0,61	43,88	0,82	78,85	0,23	17,29		0,00		0,00	28,00
<i>PEHD</i>	0,34	24,46		0,00	0,6	45,11		0,00	0,5	29,76	19,87
<i>PELD</i>		0,00	0,22	21,15		0,00	0,4	23,26		0,00	8,88
<i>PP</i>		0,00		0,00		0,00	0,21	12,21		0,00	2,44
<i>PS</i>		0,00		0,00		0,00		0,00	0,41	24,40	4,88
<i>PVC</i>		0,00		0,00	0,5	37,59		0,00		0,00	7,52
<i>Espuma</i>		0,00		0,00		0,00		0,00	0	0,00	0,00
<i>Total peso</i>	1,39		1,04		1,33		1,72		1,68		100,00

Número de Muestras	Muestra #61		Muestra #62		Muestra #63		Muestra #64		Muestra #65		Promedio # 13
	P (Kg)	%									
PET		0,00	3,1	93,77		0,00	2,1	57,85	0,85	56,67	41,66
PELDL(Fundas)	0,53	28,96		0,00	1,18	73,75	0,1	2,75	0,2	13,33	23,76
PEHD		0,00		0,00		0,00	0,57	15,70		0,00	3,14
PELD		0,00	0,016	0,48		0,00		0,00		0,00	0,10
PP		0,00		0,00	0,42	26,25	0,86	23,69		0,00	9,99
PS		0,00		0,00		0,00		0,00	0,45	30,00	6,00
PVC	1,3	71,04		0,00		0,00		0,00		0,00	14,21
Espuma		0,00	0,19	5,75		0,00		0,00		0,00	1,15
Total peso	1,83		3,306		1,6		3,63		1,5		100,00

Número de Muestras	Muestra #66		Muestra #67		Muestra #68		Muestra #69		Promedio # 14
	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	P (Kg)	%	
PET		0,00		0,00		0,00	0,87	30,10	23,52
PELDL(Fundas)	0,4	55,56		0,00	0,8	100,00		0,00	33,61
PEHD	0,32	44,44	0,22	27,85		0,00	1	34,60	21,38
PELD		0,00		0,00		0,00	0,2	6,92	1,38
PP		0,00	0,15	18,99		0,00	0,82	28,37	9,47
PS		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
PVC		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00
Espuma		0,00	0,42	53,16		0,00		0,00	10,63
Total peso	0,72		0,79		0,8		2,89		100,00

ANEXO B

MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) DE LOS MATERIALES

Material	Estado	Resistencia de fluencia en tracción S_y (0.2%)		Esfuerzo ultimo en tracción S_u		Elongación (en 2 in)	Dureza Brinell
		Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	%	HB
4140	Templado y revenido a 800 °F	165	1138	181	1248	13	370

ANEXO C

FICHA TÉCNICA DEL ACERO “CORRAX”

Información general

Comparado con el acero para utillajes convencional resistente a la corrosión, Uddeholm Corrax cuenta con las siguientes ventajas:

- Dureza flexible, 34–50 HRC, conseguida mediante un tratamiento de envejecimiento a un nivel de temperaturas entre 425–600°C
- Extremadamente buena estabilidad dimensional durante el proceso de envejecimiento
- Alta uniformidad de las propiedades, incluso para las grandes dimensiones
- Muy buena aptitud de soldadura, no es necesario precalentar
- Después del mecanizado por electroerosión, no aparece la capa blanca en la superficie
- Resistencia a la corrosión superior a la del acero AISI 420 y W.-Nr. 1.2083

Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al
	0,03	0,3	0,3	12,0	9,2	1,4	1,6
Estado de suministro	Tratado en solución a ~34 HRC						
Código de color	Negro/Gris						

Aplicaciones

- Moldes de inyección para
 - plásticos corrosivos
 - caucho
 - industria médica y alimentaria
- Matrices de extrusión
- Proceso de plásticos
 - tornillos
- Piezas de ingeniería



Propiedades

Características físicas

Envejecimiento a 46 HRC.

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m ³	7 700	–	–
Módulo de elasticidad N/mm ²	200 000	190 000	170 000
Coefficiente de expansión térmica por °C a partir de 20°C	–	11,7 x 10 ⁻⁴	12,3 x 10 ⁻⁴
Conductividad térmica W/m °C	–	18	21

Características mecánicas

Resistencia a la tensión a temperatura ambiente.

	Tratado en solución ~34 HRC	Envejecimiento ~40 HRC	Envejecimiento ~46 HRC	Envejecimiento ~50 HRC
Límite de elasticidad Rp0,2 N/mm ²	700	1 000	1 400	1 600
Resistencia a la tensión Rm N/mm ²	1 100	1 200	1 500	1 700

Resistencia a la compresión a temperatura ambiente.

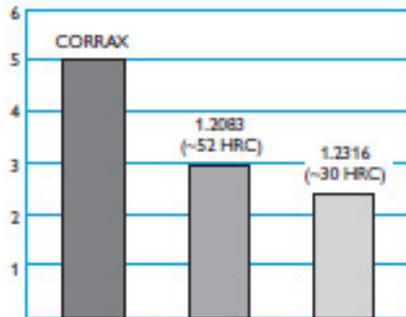
	Tratado en solución ~34 HRC	Envejecimiento ~40 HRC	Envejecimiento ~46 HRC	Envejecimiento ~50 HRC
Rc0,2 N/mm ²	900	1 300	1 600	1800

Uddeholm Corrax es un acero para moldes especialmente adecuado para piezas plásticas de diseño complicado.

Resistencia à la corrosión

Uddeholm Corrax cuenta con una muy buena resistencia a la corrosión en general, mejor que las calidades standard utilizadas para moldes de plástico. La resistencia a la corrosión es la misma independientemente de la condición del tratamiento térmico, (excepto después de la nitruración).

Resistencia a la corrosión



Uddeholm Corrax soportará ataques de los plásticos más corrosivos y ácidos diluidos.

Un molde realizado en Uddeholm Corrax contará también con una buena resistencia a las condiciones de trabajo y almacenamiento húmedas.

Uddeholm Corrax muestra también mejor resistencia a las roturas ocasionadas por la tensión de la corrosión que los aceros de temple resistentes a la corrosión.

Tratamiento térmico

Uddeholm Corrax es suministrado en condición de solución tratada y puede utilizarse en su estado de suministro. Sin embargo, cuando deba tratarse el acero a una dureza más alta, las instrucciones siguientes pueden ser de utilidad.

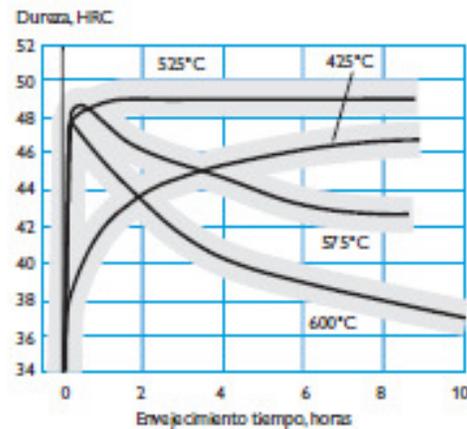
Estabilizado – Liberación de tensiones

La liberación de tensiones no puede realizarse tal y como se hace en otras calidades de acero, puesto que un aumento de temperatura resulta en una dureza más alta debido al efecto del envejecimiento.

Envejecimiento

Uddeholm Corrax puede utilizarse en su estado de suministro. Se obtiene una dureza más alta mediante el envejecimiento. Los procedimientos de envejecimiento más adecuados pueden verse reflejados en el gráfico a continuación.

El tiempo de envejecimiento significa el tiempo a la temperatura de envejecimiento una vez el utillaje ha sido calentado en toda su masa.



Cuando se alcanza el tiempo de envejecimiento, enfriar el utillaje al aire hasta alcanzar la temperatura ambiente. Un envejecimiento a alta temperatura aporta una mejor tenacidad comparado con un envejecimiento a la misma dureza a baja temperatura.

RECOMENDACIONES SOBRE ENVEJECIMIENTO

Temperatura de envejecimiento / tiempo	Dureza
525°C/4 h*	49-51 HRC
575°C/4 h	44-46 HRC
600°C/4 h	40-42 HRC

* Solo se recomienda un envejecimiento a ~50 HRC cuando la tenacidad no resulta tan importante.

Si Uddeholm Corrax se utiliza a temperaturas superiores a 200°C, la condición en solución tratada (estado de suministro) no es recomendable puesto que puede ocurrir un sobre-envejecimiento durante su utilización.

Tratamiento en solución

Uddeholm Corrax puede ser tratado en solución si es envejecido para volver al estado de suministro. El tratamiento en solución debería realizarse a 850°C, tiempo de mantenimiento 30 minutos. Enfriar al aire.

Cambios dimensionales

El envejecimiento resulta en un descenso uniforme en volumen. Puede esperarse la siguiente contracción durante el proceso de envejecimiento.

Envejecimiento	Cambios dimensionales %		
	Dirección longitudinal	Dirección transversal	Dirección transversal corta
525°C/2 h ~50 HRC	-0,07	-0,07	-0,07
575°C/2 h ~46 HRC	-0,09	-0,09	-0,09
600°C/4 h ~40 HRC	-0,14	-0,14	-0,14



Recomendaciones de mecanizado

Los parámetros de corte a continuación son válidos para Uddeholm Corrax en su estado de suministro, y deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

Pueden obtener más información en la publicación «Recomendaciones de Mecanizado» de Uddeholm.

Las recomendaciones, en las tablas siguientes, son válidas para Uddeholm Corrax en condición de solución tratada ~34 HRC.

Torneado

Parámetros de corte	Torneado con herramientas		Torneado con acero rápido Fino
	Desbasta	Fino	
Velocidad de corte (v_c) m/min.	110-160	160-210	13-18
Avance (f) mm/vr	0,2-0,4	0,05-0,2	0,05-0,2
Profundidad de corte (a_p) mm	2-4	0,5-2	0,5-3
Designación ISO	P20-P40 Carburo revestido	P10 Carburo revestido o cementado	—

Fresado

FRESADO FRONTAL Y AXIAL

Parámetros de corte	Fresado con herramientas	
	Desbasta	Fino
Velocidad de corte (v_c) m/min.	70-90	90-110
Avance (f) mm/diente	0,2-0,4	0,1-0,2
Profundidad de corte (a_p) mm	2-5	~2
Designación, ISO	P20-P40 Carburo revestido	P10-P20 Carburo revestido o cementado

FRESADO DE ACABADO

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro	Metal duro insertado	Acero rápido
Velocidad de corte (v_c) m/min.	60-100	70-110	20-25 ¹⁾
Avanza (f_z) mm/diente	0,006-0,20 ²⁾	0,06-0,20 ²⁾	0,01-0,35 ²⁾
Designación ISO	K10, P40	P20-P30	—

¹⁾ Para fresas de acero rápido con recubrimiento $v_c = 35-45$ m/min.

²⁾ Dependiendo de la profundidad radial y diámetro de corte

Taladrado

TALADRADO CON BROCAS ESPIRALES DE ACERO RAPIDO

Diámetro de la broca mm	Velocidad de corte (v_c) m/min.	Avanza (f) mm/r
— 5	13-15*	0,05-0,10
5-10	13-15*	0,10-0,20
10-15	13-15*	0,20-0,25
15-20	13-15*	0,25-0,30

* La misma velocidad de corte utilizando brocas de acero rápido con recubrimiento $v_c = 13-15$ m/min.

TALADRADO CON BROCAS DE METAL DURO

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Broca con refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (v_c) m/min	180-200	100-130	50-70
Avanza (f) mm/r	0,05-0,15 ²⁾	0,10-0,25 ²⁾	0,15-0,25 ²⁾

¹⁾ Broca con canales de refrigeración interna

²⁾ Dependiendo del diámetro de la broca

Rectificado

A continuación ofrecemos unas recomendaciones generales de rectificado.

Pueden obtener más información en la publicación de Uddeholm «Rectificado de Acero para Utilajes».

Tipo de rectificado	Tratado en solución, envejecido
Rectificado frontal muela plana	A 46 GV
Rectificado frontal por segmentos	A 36 FV
Rectificado cilíndrico	A 60 JV
Rectificado interno	A 60 IV
Rectificado de perfil	A 120 JV

Cuando se requiera un buen acabado de la superficie la muela de SiC puede ser una alternativa.

EDM – mecanizado por electro-erosión

Uddeholm Corrax puede ser mecanizado por electro-erosión del mismo modo que los aceros normales para utilajes. Sin embargo, la «capa blanca» no será tan dura y por tanto será más fácil de eliminar.

Soldadura

No es necesario realizar un precalentamiento. Al soldar Uddeholm Corrax en su estado de suministro, se recomienda realizar una soldadura intermitente.

A fin de obtener una dureza uniforme, es necesario llevar a cabo un tratamiento térmico después de aplicar la soldadura. El tiempo y la temperatura están determinados por la dureza requerida y el material de aportación. Se recomienda utilizar Varilla Corrax TIG-Weld como materia de aportación.

Rogamos contacte con su oficina local de Uddeholm para información más detallada.

Fotograbado

Uddeholm Corrax cuenta con una muy buena resistencia a la corrosión, por tanto se requiere un proceso especial para realizar el fotograbado químico. Una estructura fina con una profundidad superficial de <0,04 mm es fácilmente realizable.

Tabla comparativa de propiedades

Calidad de acero Uddeholm	Dureza HRC	Resistencia al desgaste	Resistencia a la corrosión
CORRAX	34	■	■
CORRAX	50	■	■
STAVAX SUPREME	52	■	■
STAVAX ESR	52	■	■
ELMAX	58	■	■
RAMAX 2	37	■	■
IMRAX SUPREME	32	■	■

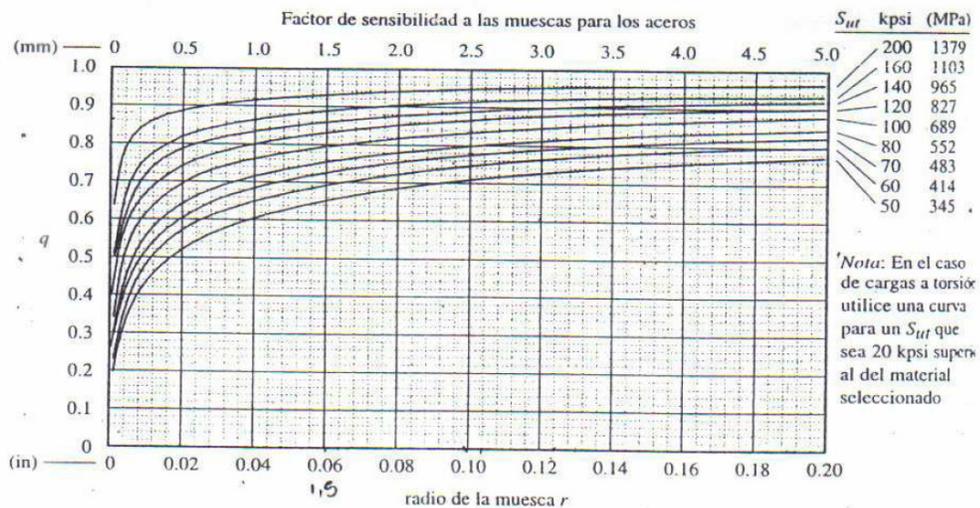
Información adicional

Rogamos contacte con la oficina local de Uddeholm más cercana a fin de obtener información sobre la selección, tratamiento térmico, aplicación y disponibilidad de los aceros para utillajes de Uddeholm.

ANEXO D

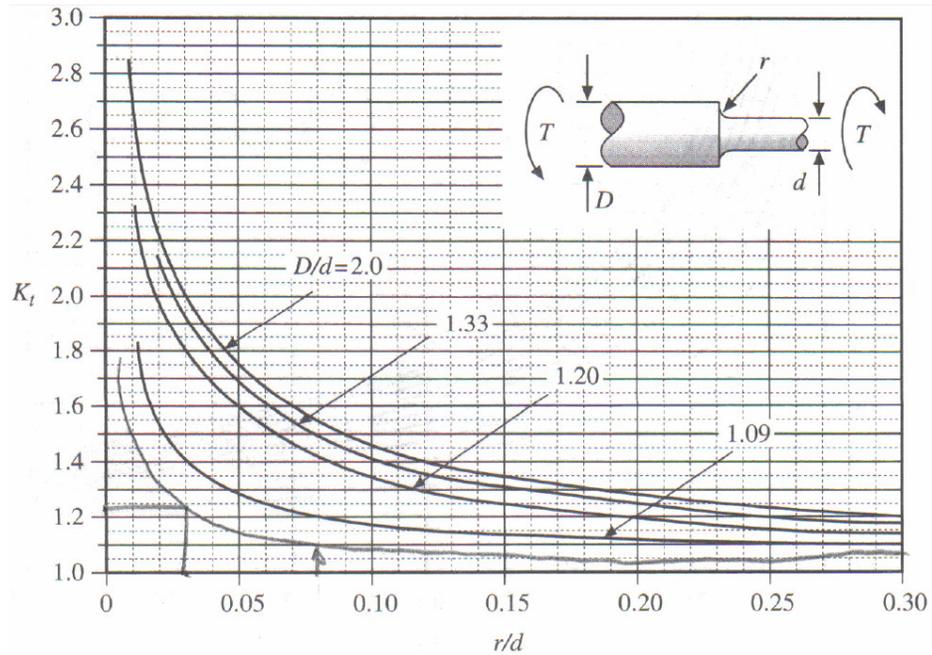
FACTOR DE SENSIBILIDAD A LAS MUESCAS PARA LOS ACEROS

q



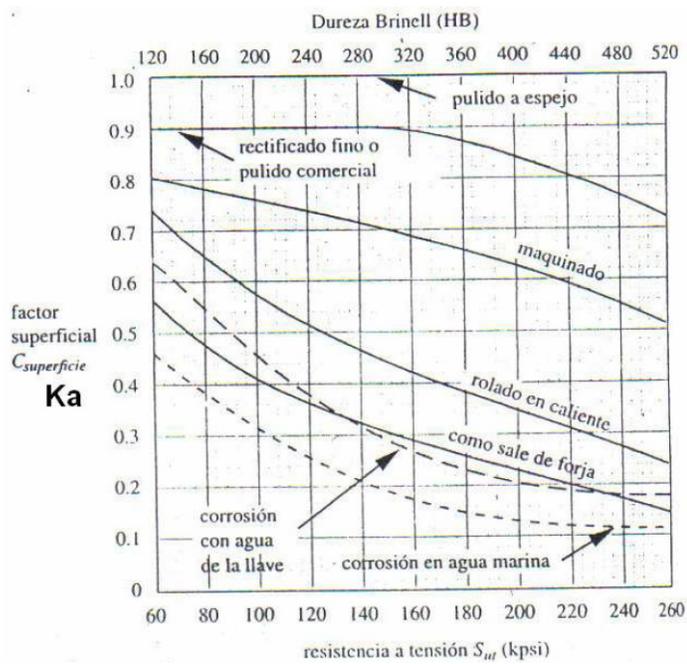
ANEXO E

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS PARA UN EJE CON UN FILETE EN TORSIÓN



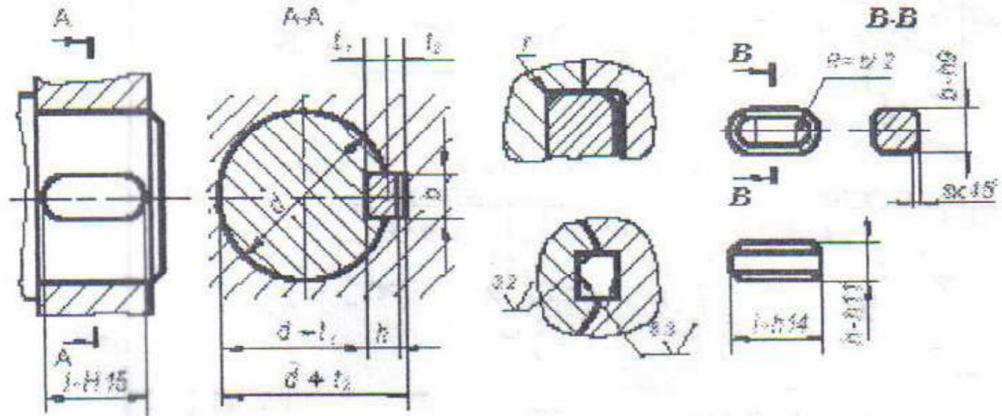
ANEXO F

TABLA DE DUREZA BRINELL PARA HALLAR EL FACTOR SUPERFICIAL KA



ANEXO G

UNIÓN CON CHAVETAS



Diámetro del árbol d, mm	Medida nominal de la chaveta, mm		Medida nominal del chavetero, mm				
	b×h	Chaflán S		Profundidad		Radio r	
		máx	min	En el árbol t ₁	En el cubo t ₂	máx	min
6 a 8 8 a 10 10 a 12	2×2 3×3 4×4	0.25	0.16	1.2 1.8 2.5	1.0 1.4 1.8	0.16	0.08
12 a 17 17 a 22 22 a 30 22 a 30	5×5 6×6 7×7 8×7	0.40	0.25	3.0 3.5 4.0 4.0	2.3 2.6 3.3 3.3	0.25	0.15
30 a 38 38 a 44 44 a 50 50 a 58 58 a 65	10×8 12×8 14×9 16×10 18×11	0.60	0.40	5.0 5.0 5.5 6.0 7.0	3.3 3.3 3.8 4.3 4.4	0.40	0.25
65 a 75 75 a 85 85 a 95 95 a 110 110 a 130	20×12 22×14 25×14 28×16 32×18	0.80	0.60	7.5 9.0 9.0 10.0 11.0	4.9 5.4 5.4 6.4 7.4	0.60	0.40
130 a 150 150 a 170 170 a 200 200 a 230	36×20 40×22 45×25 50×26	1.2	1.00	13.0 13.0 15.0 17.0	8.4 9.4 10.4 11.4	1.0	0.7

ANEXO H

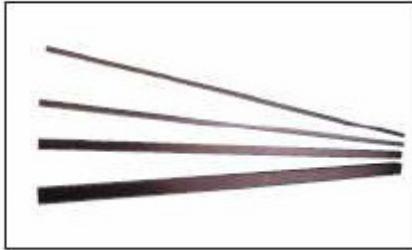
MATERIAL DE LA CHAVETA

TABLA DE MATERIALES



Material Nº	Código DIN	similar ~ Código AISI	Elementos esenciales de la aleación				
			C %	Cr %	Ni %	% Mo	Alea- ción
ACEROS DE CEMENTACIÓN							
1.0301	C 10		0,07 - 0,13				
1.0401	C 15		0,12 - 0,18				
◆ 1.7131	16 MnCr 5	5115	0,14 - 0,19	0,8 - 1,1			
1.7147	20 MnCr 5	5120	0,17-0,22	1,0 - 1,3			
ACEROS DE TEMPLE							
◆ 1.0503	C 45 K	1043	0,42 - 0,5				
1.0601	C 60 K	1060	0,57 - 0,65				
◆ 1.7225	42 CrMo 4	4137	0,38 - 0,45	0,9 - 1,2	≤ 0,6	0,15 - 0,3	
ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS Y MARTENSITICOS							
1.4005	X 12 Cr S 13	416	< 0,15	12 - 13			S
1.4016	X 8 Cr 17	430	< 0,08	15,5 - 17,5			
1.4021	X 20 Cr 13	420 A	0,18 - 0,22	12 - 14			
1.4028	X 30 Cr 13	420 B	0,25 - 0,35	12 - 14			
1.4034	X 40 Cr 13	420 C	0,40 - 0,50	12,5 - 14,5			
◆ 1.4057	X 22 Cr Ni 17	431	0,14 - 0,23	15,5 - 17,5	1,5 - 2,5		
1.4104	X 12 Cr Mo S 18	430 F	0,10 - 0,17	15,5 - 17,5		0,20 - 0,60	S
1.4112	X 90 Cr Mo V 18	440 B	0,86 - 0,95	17 - 19		0,9 - 1,3	V
1.4122	X 35 Cr Mo 17		0,33 - 0,43	15,5 - 17,5	< 1,0	0,9 - 1,3	
ACEROS RESISTENTES AL ACIDO Y AL OXIDO			ACEROS AUSTENITICOS				
◆ 1.4301	X 5 Cr Ni 18 9	304	< 0,07	17 - 19	8,5 - 11		
1.4305	X 12 Cr Ni S 18 8	303	< 0,12	17 - 19	8 - 10	< 0,70	S
1.4306	X 2 Cr Ni 18 9	304 L	< 0,03	18 - 20	10 - 12,5		
1.4310	X 12 Cr Ni 17 7	301	0,08 - 0,14	18 - 18	8,5 - 9	< 0,80	
1.4401	X 12 Cr Ni 17 7	316	< 0,07	16,5 - 18,5	10,5 - 13,5	2 - 2,5	
1.4404	X 5 Cr Ni Mo 18 10	316 L	< 0,03	16,5 - 18,5	11 - 14	2 - 2,5	
1.4435	X 2 Cr Ni Mo 18 10	316 L	< 0,03	16,5 - 18,5	12,5 - 15	2,5 - 3	
1.4436	X 2 Cr Ni Mo 18 12	316	< 0,07	16,5 - 18,5	11,0 - 14	2,5 - 3	
1.4460	X 8 Cr Ni Mo 27 5	329	< 0,10	26 - 28	4 - 5	1,3 - 2	
1.4462	X 12 Cr Ni Mo N 22 5		< 0,03	21 - 23	4,5 - 6,5	2,5 - 3,5	N
1.4539	X 2 Ni Cr Mo Cu 25 20 5		< 0,03	19 - 21	24 - 26	4 - 5	Cu
1.4541	X 10 Cr Ni Ti 18 9	321	< 0,08	17 - 19	9 - 12,0		Ti
◆ 1.4571	X 10 Cr Ni Mo Ti 18 10	316 Ti	< 0,08	16,5 - 18,5	11,5 - 14	2 - 2,5	Ti
◆ Estos materiales se pueden servir de stock Las calidades no especificadas y otras calidades se pueden servir de nueva fabricación.							

PERFILES DIN 6880



Medidas en mm

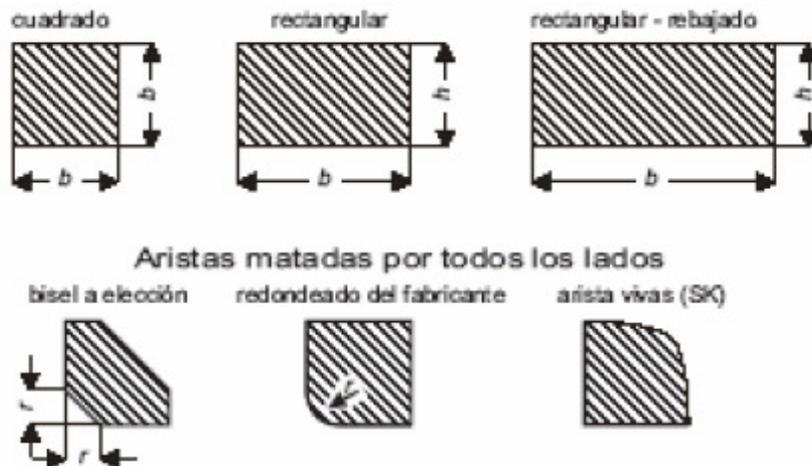
1. Campo de aplicación

Esta norma sirve para aceros para chavetas brillantes en barra con sección cuadrada, rectangular o rectangular rebajado con las medidas en la tabla de las calidades de acero citadas en la tabla anterior.

Esta norma nos sirve para aceros plano brillante (DIM 174) y aceros cuadrados brillantes (DIM 178).

2. concepto

Aceros para chavetas brillantes es un acero transformado en frío, sin arranque de viruta y descascarillado, con superficie relativamente lisa, brillante y exactitud de medidas correspondientemente altas. Esta destinada a la fabricación de chavetas y lengüetas de ajuste.



3. Designación

Designación de un acero para chavetas con aristas matadas por todos los lados.

MATERIAL DE LAS CUCHILLAS DE MOLINO

EL ACERO

SVERVER 3 = XW-5 = AISI D6
Acero para trabajo en frío

GENERALIDADES: Acero para utilajes con alto contenido en carbono y cromo, aleado con tungsteno. Gran resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión, elevada dureza después de temple con muy buena estabilidad dimensional. Adecuado para utilajes que necesiten excepcional resistencia al desgaste y larga vida, lo que implica bajos costos en reparación y mantenimiento. Dureza de suministro 240 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>
ASSAB XW-5	2.05	0.30	0.80	12.5	1.3
AISI/SAE D6	2.05	0.30	0.40	11.5	0.70

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	D6
DIN	X210CrW12
W.Nr	1.2436
BOFORS	RT 60
UDDEHOLM	SVERKER 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 62 HRC

Temperatura °C	20	200	400
Densidad kg/m³	7700	7650	7600
Módulo de elasticidad N/mm²	194000	189000	173000
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11.0x10 ⁻⁶	10.8x10 ⁻⁶

APLICACIONES:

	ESPESOR DEL MATERIAL	DUREZA DEL MATERIAL < 180 HRB	DUREZA DEL MATERIAL > 180 HRB
Útiles para: Corte, punzonado, doblado, cizallado y desbarbado	< 3 mm	60-62	56-58
Cizallas cortas para materiales finos, cuchillas de corte y triturado para recuperación de materiales plásticos.			56-60
Cizallas circulares para chapa, cartón, etc.			58-60
Útiles para tronchado y desbarbado para piezas de forja			58-60
Fresas para madera, escariadores, etc			56-58
Doblado, acuñado, embutición profunda, repujado, estirado y conformado por estirado			56-62
Rodillos para laminar tubo y laminado de segmentos			58-62
Matrices de estirado en frío, matrices de calibrado			58-62
Compactación de polvos			58-62
Carriles guía			56-60
Conformado de materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de rectificado, plásticos abrasivos, boquillas para arenado, instrumentos de metrología, manguitos, calibres, etc.			58-62

TRATAMIENTO TÉRMICO

Recocido blando: Proteger el acero en toda su masa hasta alcanzar los 850 °C. Refrigerar luego en el horno a una velocidad de 10 °C por hora hasta los 650 °C, después libremente al aire.

Eliminación de tensiones: Una vez realizado el mecanizado de desbaste, el utillaje debería calentarse en toda su masa hasta los 650 °C, manteniendo la temperatura por espacio de 2 horas. Enfriar lentamente hasta los 500 °C y luego libremente al aire.

Temple:

Temperatura de precalentamiento: 600-700 °C

Temperatura de austenización: 920-1000 °C, normalmente 940-980 °C.

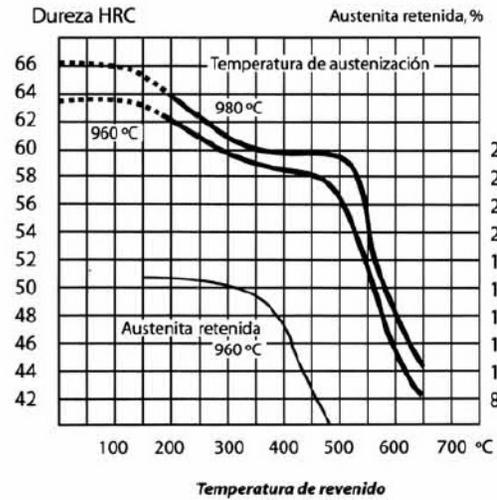
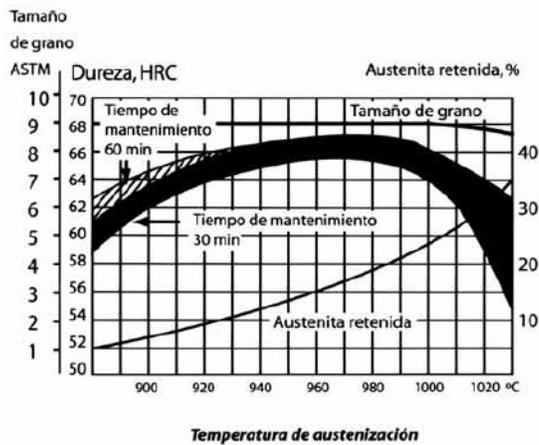
Nitruración: Este proceso en gas amoniaco puede alcanzar durezas de hasta 1150 HV₁. Con estas durezas, no puede soportar cargas puntuales por peligro de despostillamiento.

Agentes de enfriamiento:

- Aceite
- Vacío (gas a alta velocidad)
- Aire forzado/gas
- Baño de martemple o lecho fluidizado a 180-500 °C, luego enfriar al aire

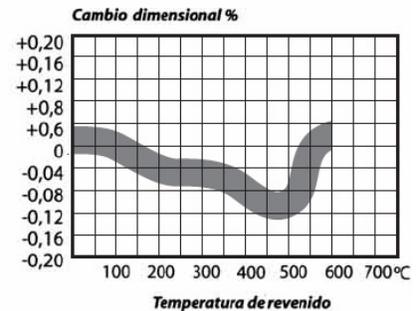
Nota: Revenir el utillaje tan pronto como su temperatura alcance 50-70 °C

CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO (2h+2h)



CAMBIOS DIMENSIONALES DURANTE EL TEMPLE Y REVENIDO

		Ancho %	Largo %	Espesor %
Temple en aceite	min.	-0.05	+0.07	--
	máx.	-0.08	+0.09	-0.08
Baño de martemple desde 960 °C	min.	-0.01	+0.07	--
	máx.	-0.03	+0.09	-0.16
Temple al aire desde 960 °C.	min.	+0.05	+0.09	--
	máx.	+0.06	+0.13	+0.05



MEDIDAS EN STOCK:**REDONDO**

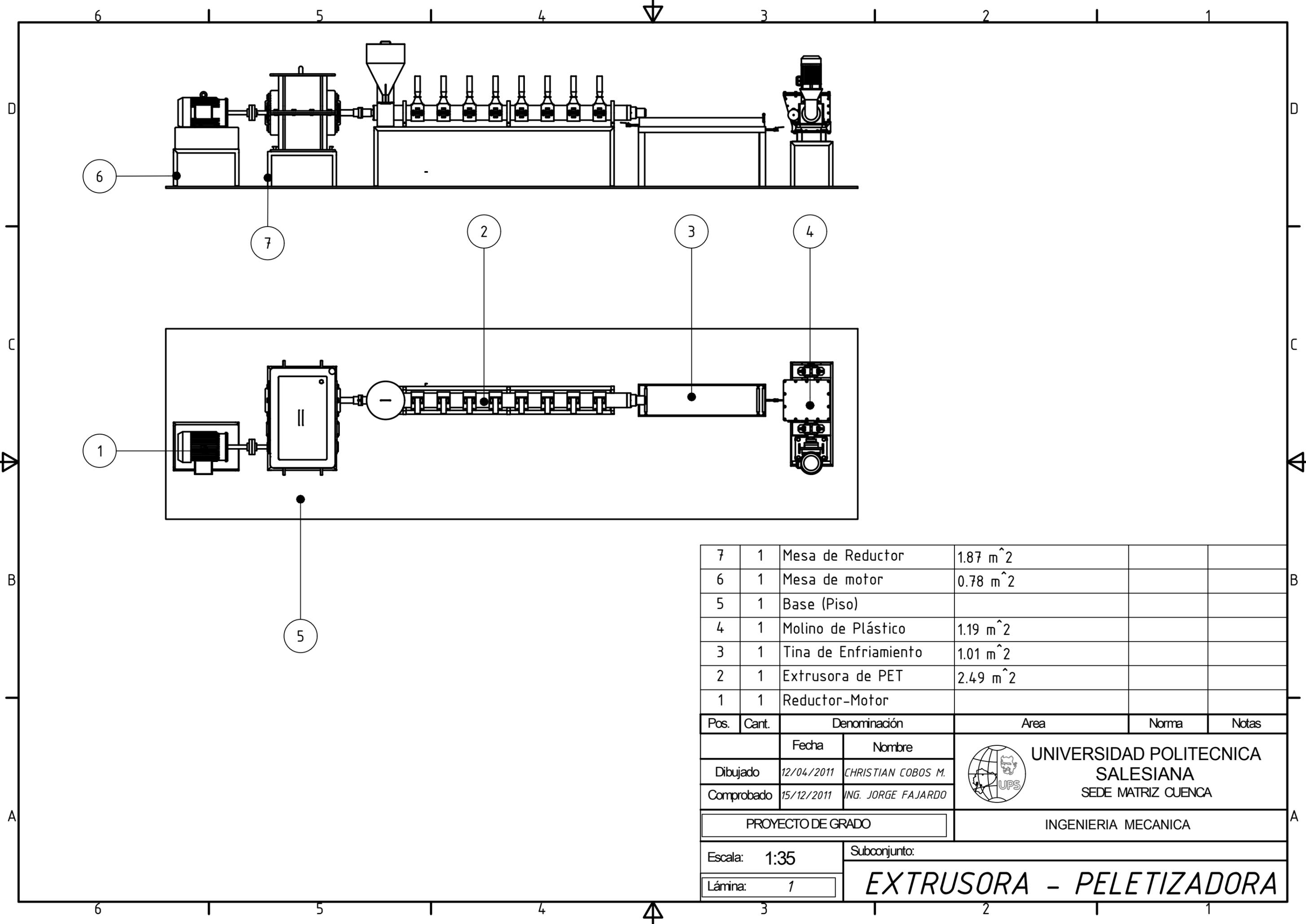
Díámetro (mm)	Peso (kg/m)
20	2,5
25,4	4,0
28	4,8
38	8,9
43	11,4
50	15,4
63,5	24,9
70	30,2
76,2	35,8
90	49,9
100	61,7
115	81,5
125	96,3
140	120,8
150	138,7
170	178,2
200	246,6
225	312,1
250	385,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (kg/m)
15 x 133	15,7
22 x 45	7,8
22 x 69	11,9
22 x 108	18,7
22 x 210	36,3
22 x 260	44,9
28 x 82	18,0
28 x 108	23,7
28 x 133	29,2
28 x 158	34,7
28 x 210	46,2
28 x 260	57,1
35 x 57	15,7
35 x 133	36,5
35 x 158	43,4
35 x 210	57,7
35 x 260	71,4
41 x 108	34,8
41 x 210	67,6
41 x 260	83,7
50,8 x 305	121,6

ANEXO J

**PARTICULAR DEL TORNILLO DE EXTRUSIÓN DE PET,
TANQUE DE ENFRIAMIENTO Y ELEMENTOS DE MOLINO**

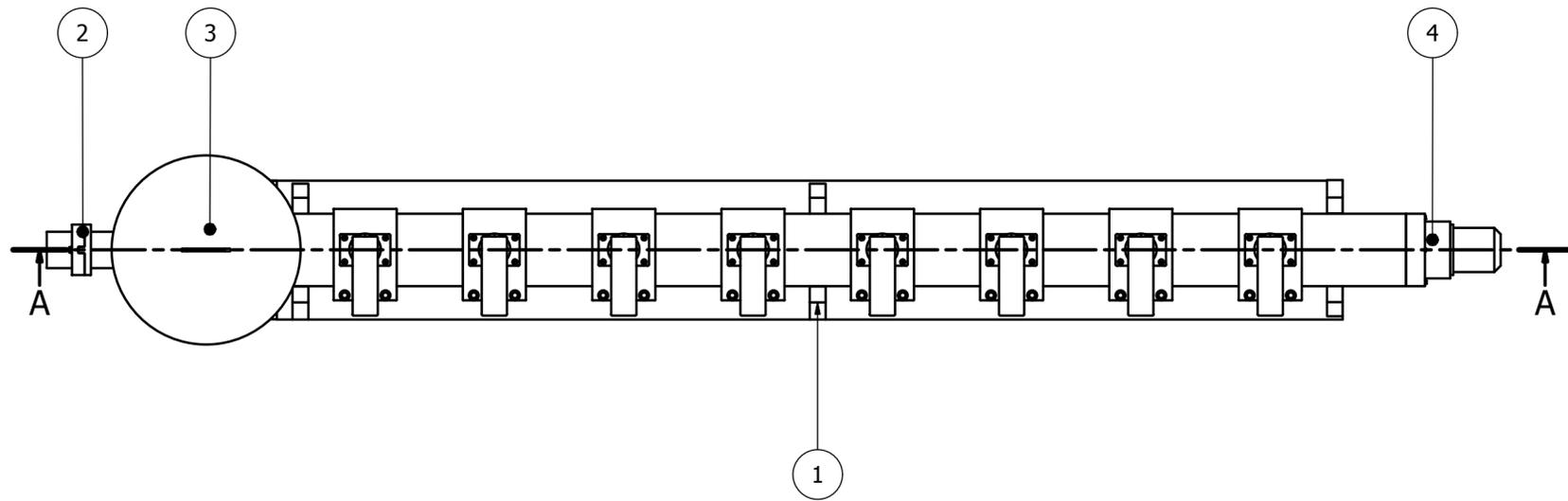
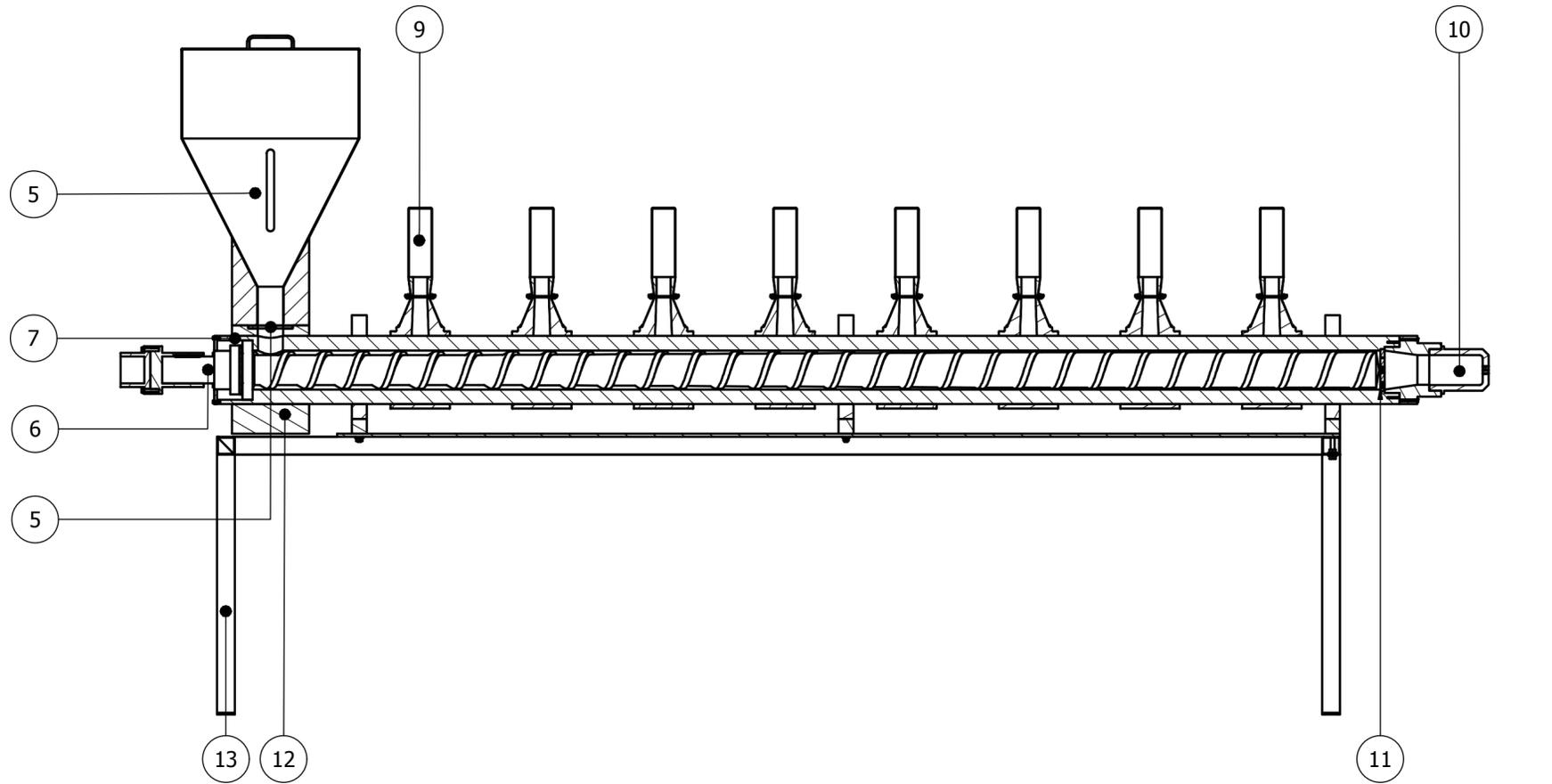


7	1	Mesa de Reductor	1.87 m ²		
6	1	Mesa de motor	0.78 m ²		
5	1	Base (Piso)			
4	1	Molino de Plástico	1.19 m ²		
3	1	Tina de Enfriamiento	1.01 m ²		
2	1	Extrusora de PET	2.49 m ²		
1	1	Reductor-Motor			

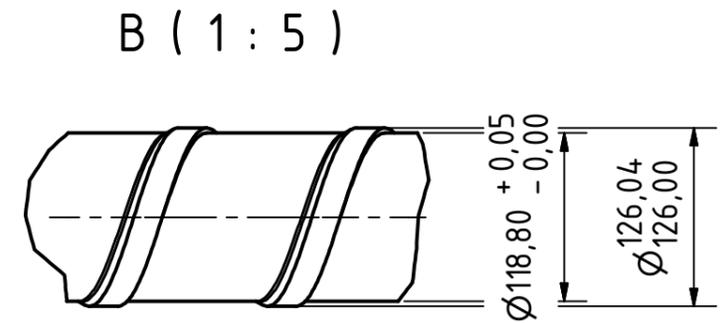
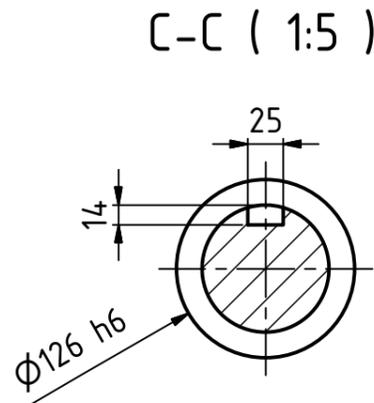
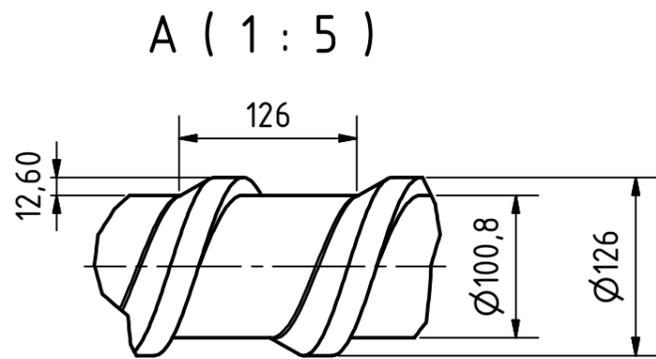
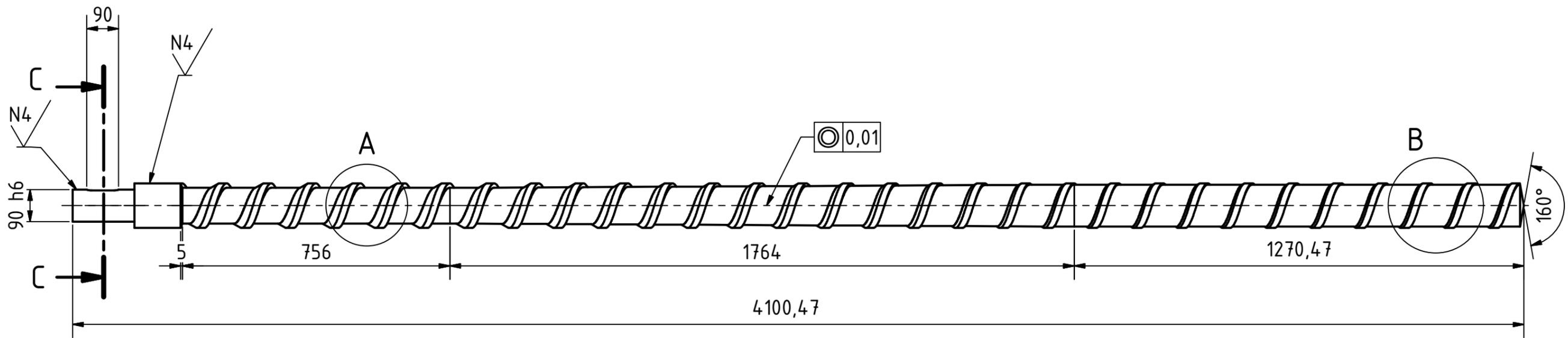
Pos.	Cant.	Denominación	Area	Norma	Notas	
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA		
		Dibujado	12/04/2011			CHRISTIAN COBOS M.
		Comprobado	15/12/2011			ING. JORGE FAJARDO
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA			

Escala: 1:35 Lámina: 1	Subconjunto: EXTRUSORA - PELETIZADORA
---------------------------	---

A-A (1 : 15)



13	1	Estructura	AC. ESTRUCTURAL 36		
12	1	Carcasa Tolva	AI SI 420		
11	1	Malla	AI SI 420		
10	1	Dado	AI SI 420		
9	8	Ventilador			
8	1	Tolva	AC. INOX. e. 1/16"		
7	1	Cilindro	AC. INOX. e 1/8"		
6	1	Tomillo	AI SI 420		Cromado
5	1	Filtro Tolva	AC. INOX. e. 1/16"		
4	1	Porta Dado	A 32		
3	1	Tapa Tolva	AC. INOX. e. 1/16"		
2	1	Matrimonio	AC. INOX. e. 1/16"		
1	3	Soporte de Cilindro	AC. INOX. e. 1/16"		
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	16/07/2011	CHRISTIAN COBOS M.			
Comprobado	15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO			
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA		
Escala:	1:15	Subconjunto:			
Lámina:	3	EXTRUSORA DE PET			

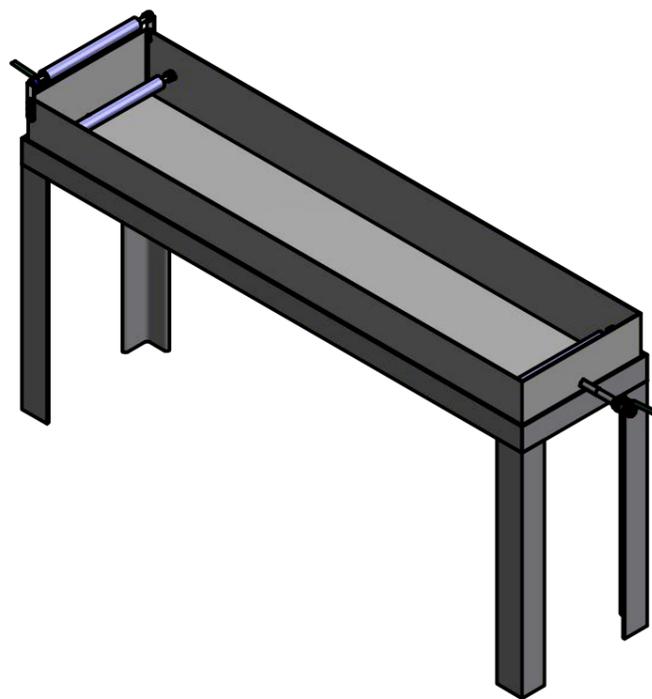
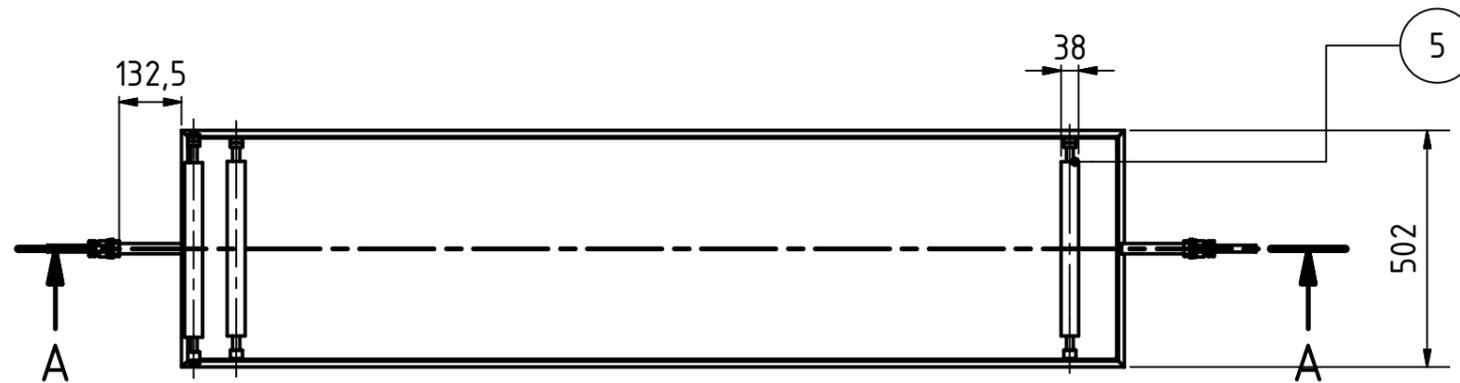
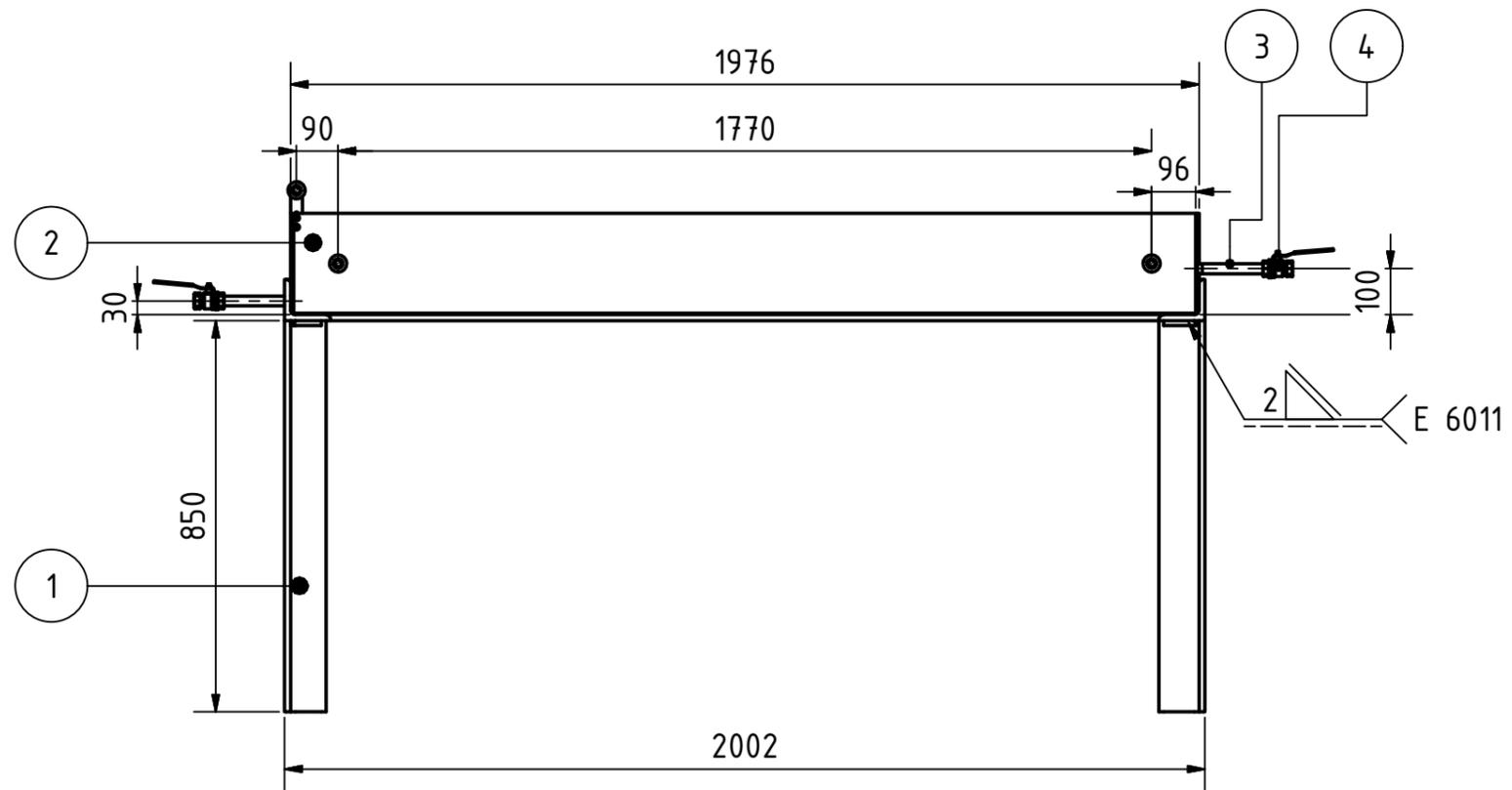


N2 CROMADO (✓)

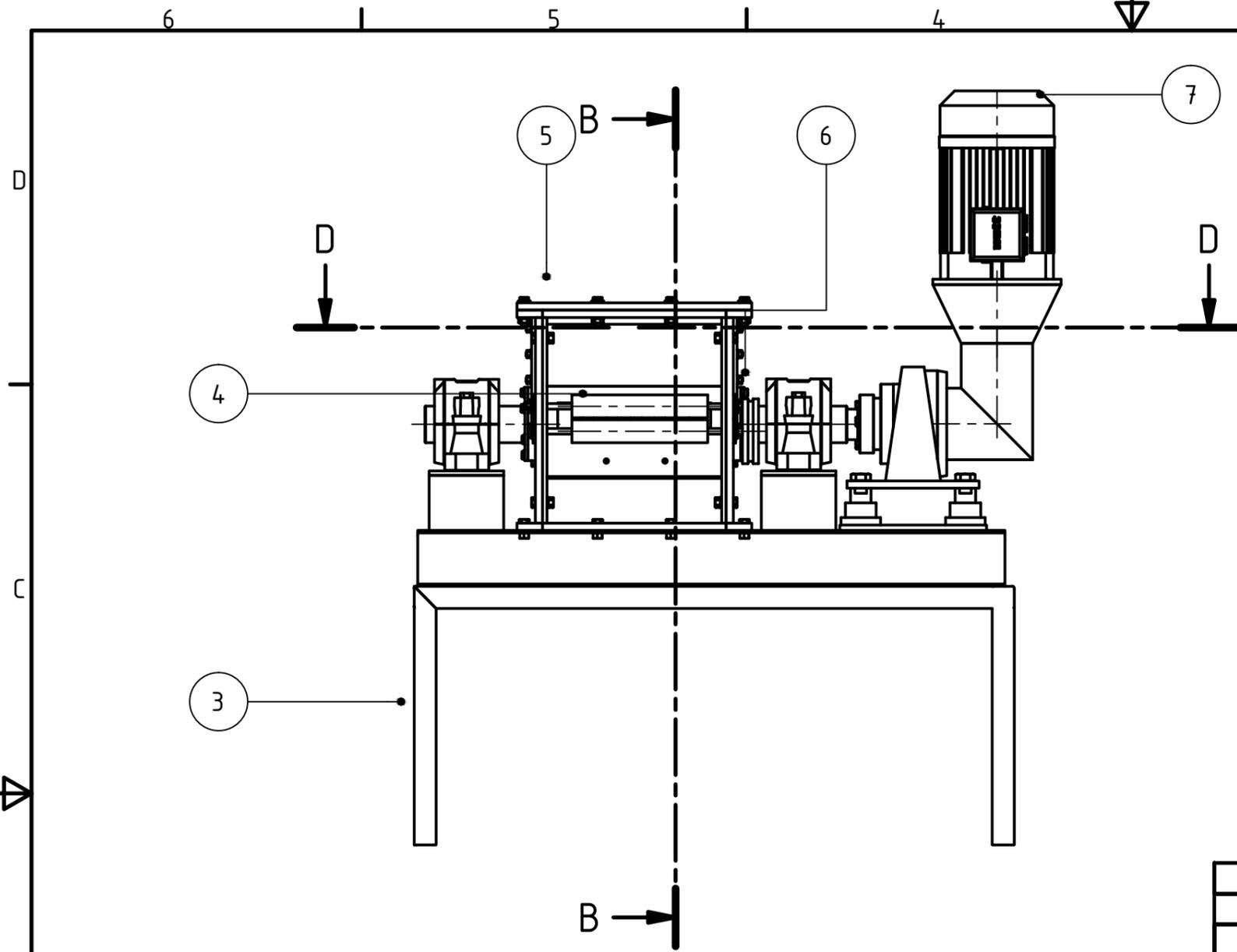
Datos Tecnicos de Tornillo						
D	Hi	H _z	L/D	Z. Alimentacion	Z. Comp	Z. Dosificacion
126	12.6	2.4	30/1	6/1	14/1	10/1

1	1	Tornillo de Extrusión de PET	4105 x 130	AISI 420 (Corrax)	Cromado
Pos.	Cant.	Denominacion	M. Bruto	Material	Norma
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE	
Dibujado		09/01/2011	CHRISTIAN COBOS M.		
Comprobado		15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO		
ESCALA:		TORNILLO PARA EXTRUSION DE PET			INGENIERIA MECANICA
1:12					Lámina N° 01

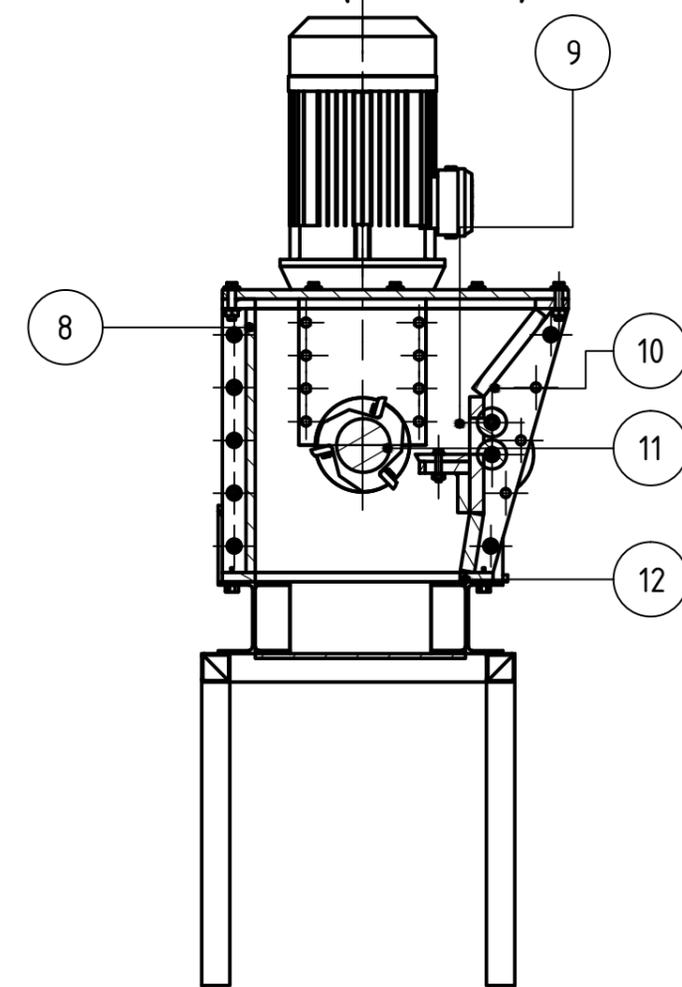
A-A (1 : 15)



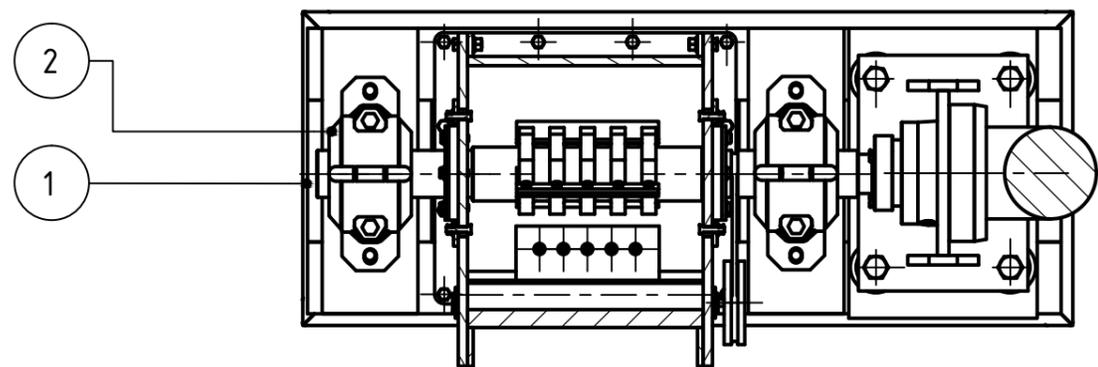
5	3	Rodillos Tensores	Gilon		
4	2	Valvula		XV520P-12	
3	2	Pipe		ASME B36.19M	
2	1	Tina	Ac. Inox. e 1/8"		
1	1	Base	Perfil L de 4" x 4" x 500		
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	06/08/2011	CHRISTIAN COBOS M.			
Comprobado	15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO			
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA		
Escala:	1:20	Subconjunto:			
Lámina:	2	TINA DE ENFRIAMIENTO			



B-B (1 : 15)



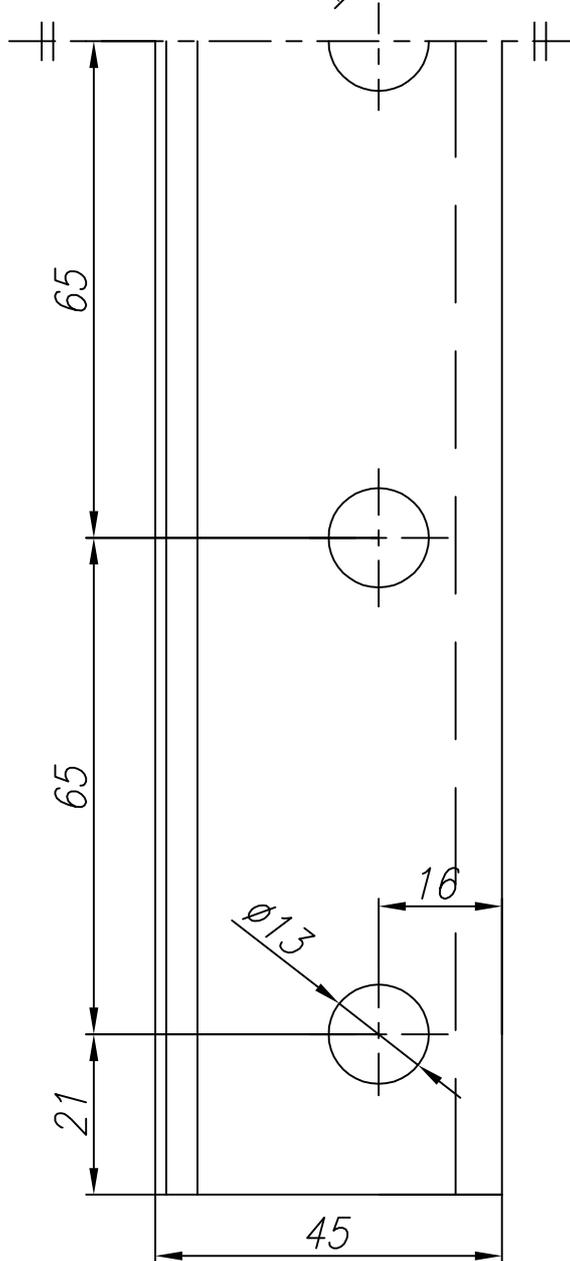
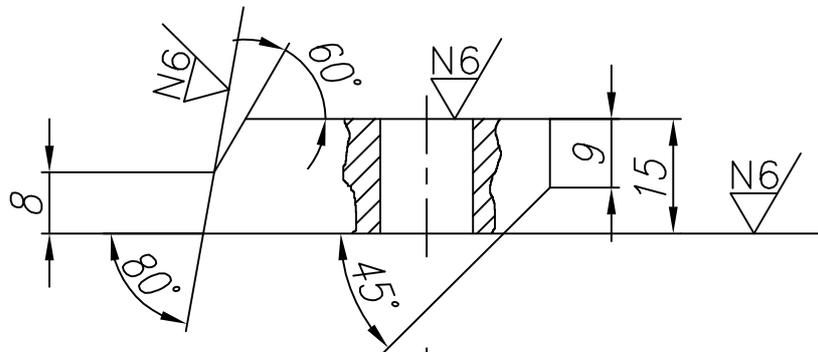
D-D (1 : 15)



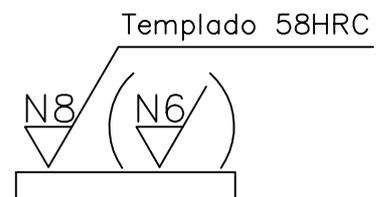
12	2	Perfil I	AC. ESTRUCTURAL A 36		
11	3	Cuchilla Movil	AC. XW - 5		TEMPLADO
10	4	Rodamientos	SKF DIN 620		
9	1	Cuchilla Fija	AC. XW - 5		TEMPLADO
8	1	Carcaza	FUNDICIÓN GRIS		
7	1	Motor 7 HP			
6	1	Polea			
5	1	Tapa	FUNDICIÓN GRIS		
4	2	Rodillos Tensores	GRILON		
3	1	Estructura	AC. ESTRUCTURAL A 36		
2	2	Chumacera			
1	1	Eje Principal	AC. 7210		CEMENTADO
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas

		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA
Dibujado	16/07/2011	CHRISTIAN COBOS M.			
Comprobado	15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO			
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA		

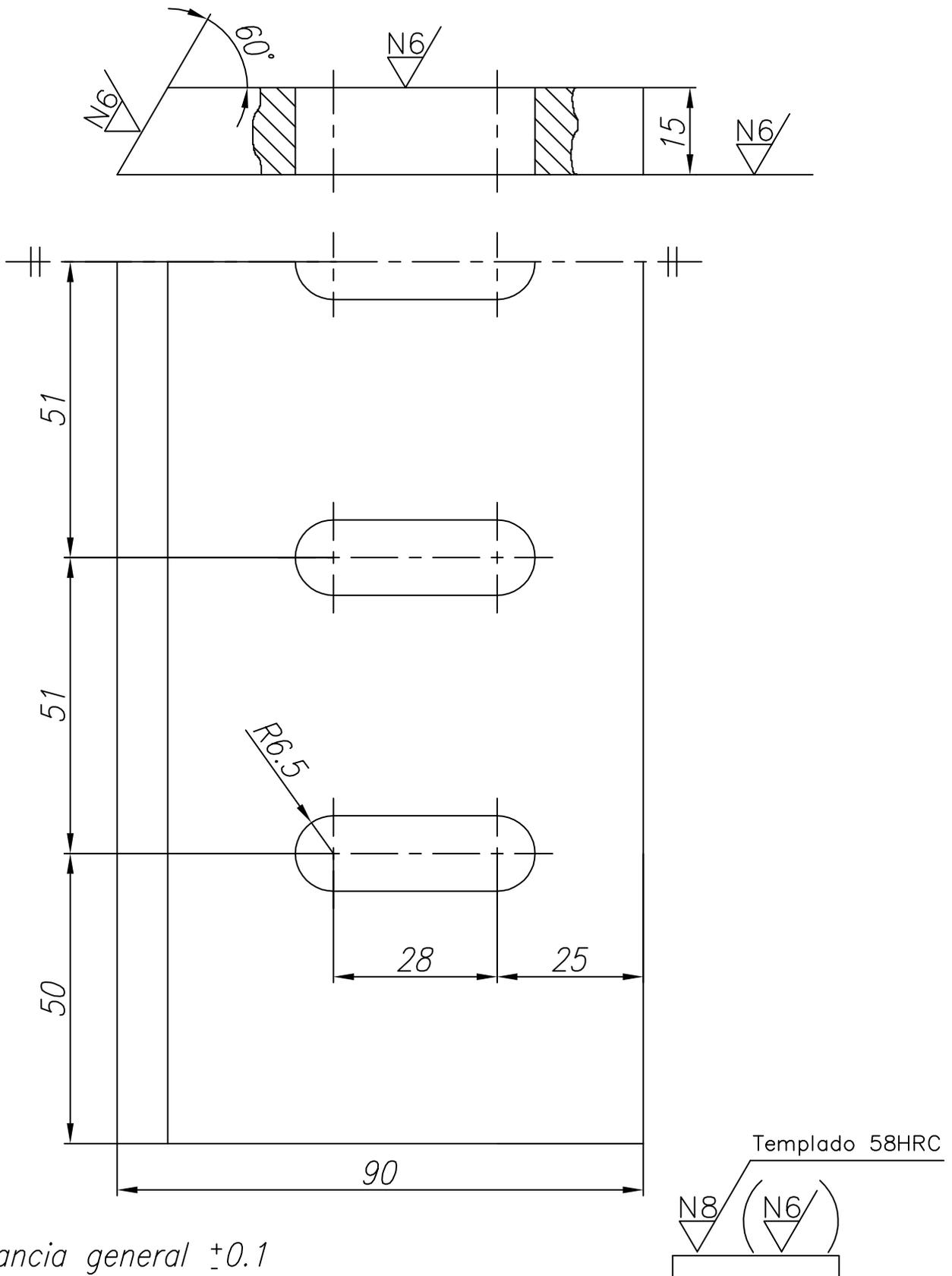
Escala: 1:15 Lámina: 5	Subconjunto: PELETIZADORA
---------------------------	-------------------------------------



Tolerancia general ± 0.1



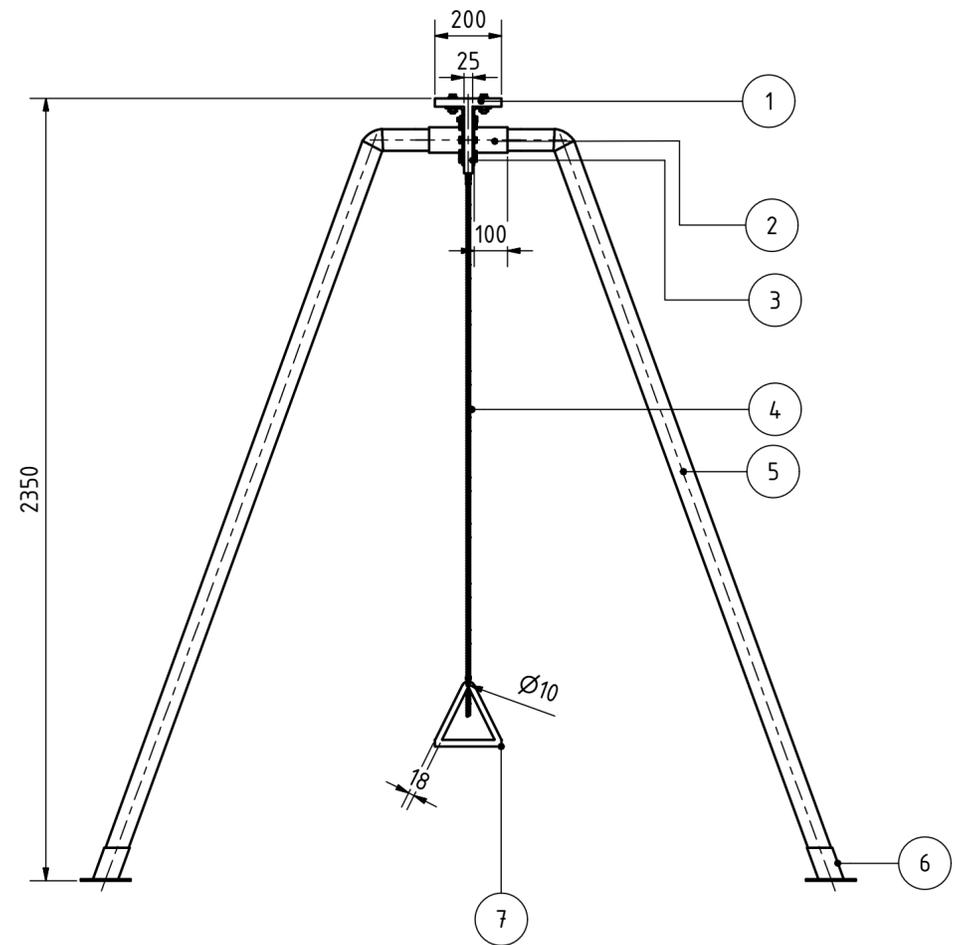
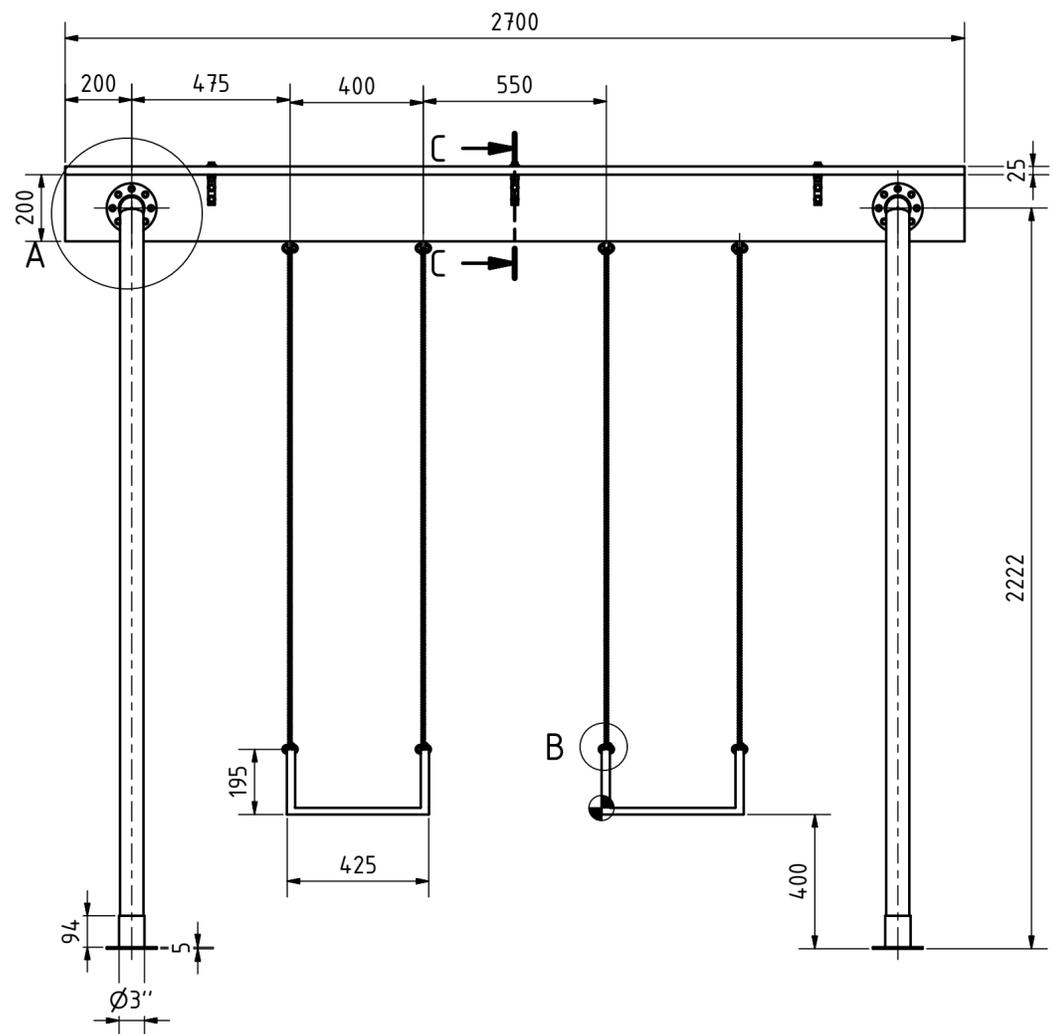
3	3	Cuchilla giratoria	Acero XW-5		Templado
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE	
Dibujado	2011-01-09	CHRISTIAN M. COBOS M.			
Comprobado	2011-15-12	ING. JORGE FAJARDO			
ESCALA:	MOLINO PARA PLASTICO			INGENIERIA MECANICA	
1:1				Lámina N° 01	



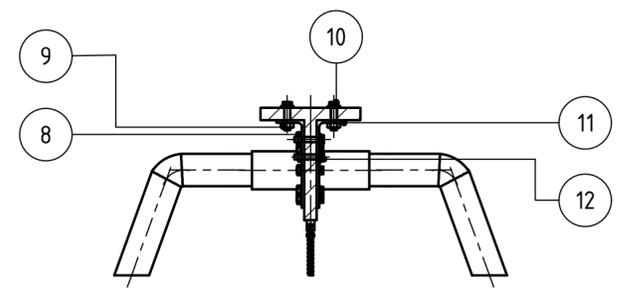
1	1	Cuchilla fija	Acero XW-5		Templado
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE	
Dibujado	2011-01-09	CHRISTIAN M. COBOS M.			
Comprobado	2011-15-12	ING. JORGE FAJARDO			
ESCALA:	MOLINO PARA PLASTICO			INGENIERIA MECANICA	
1:1				Lámina N° 01	

ANEXO K

DISEÑO DE COLUMPIO Y MACETA



C-C (1:10)



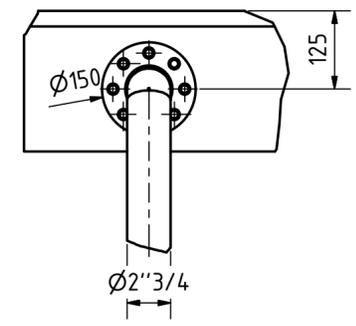
D (0,1 : 1)



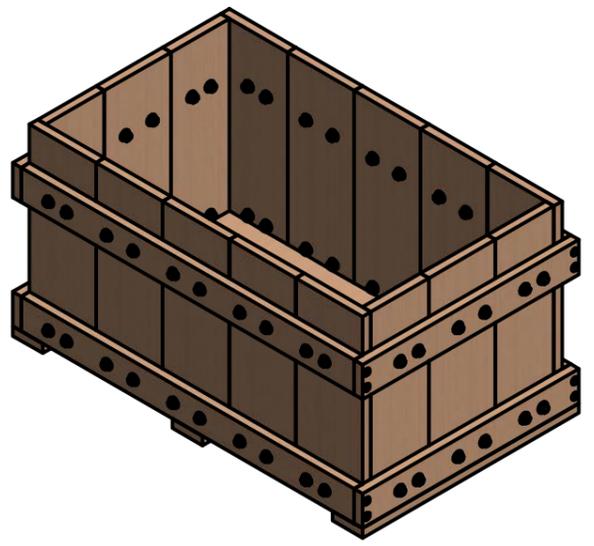
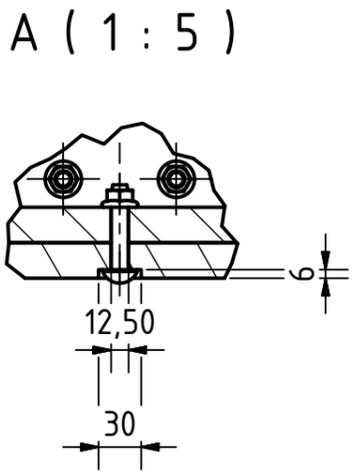
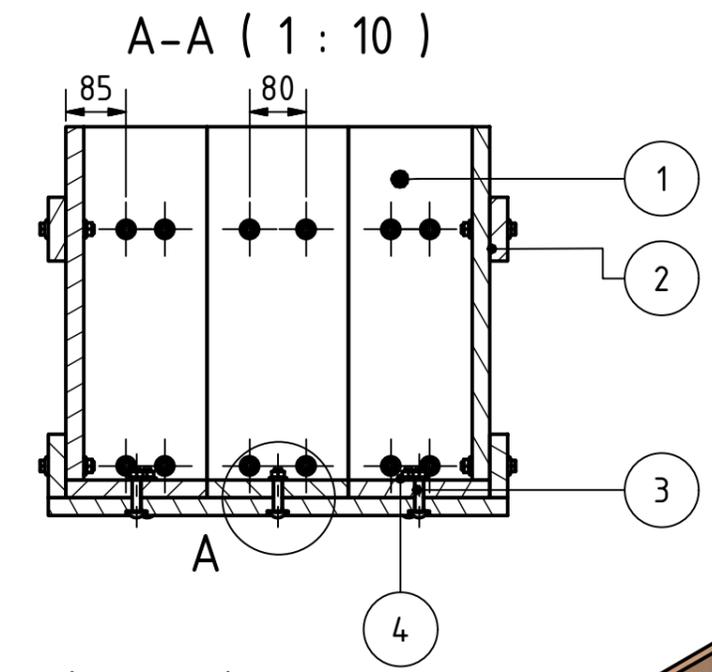
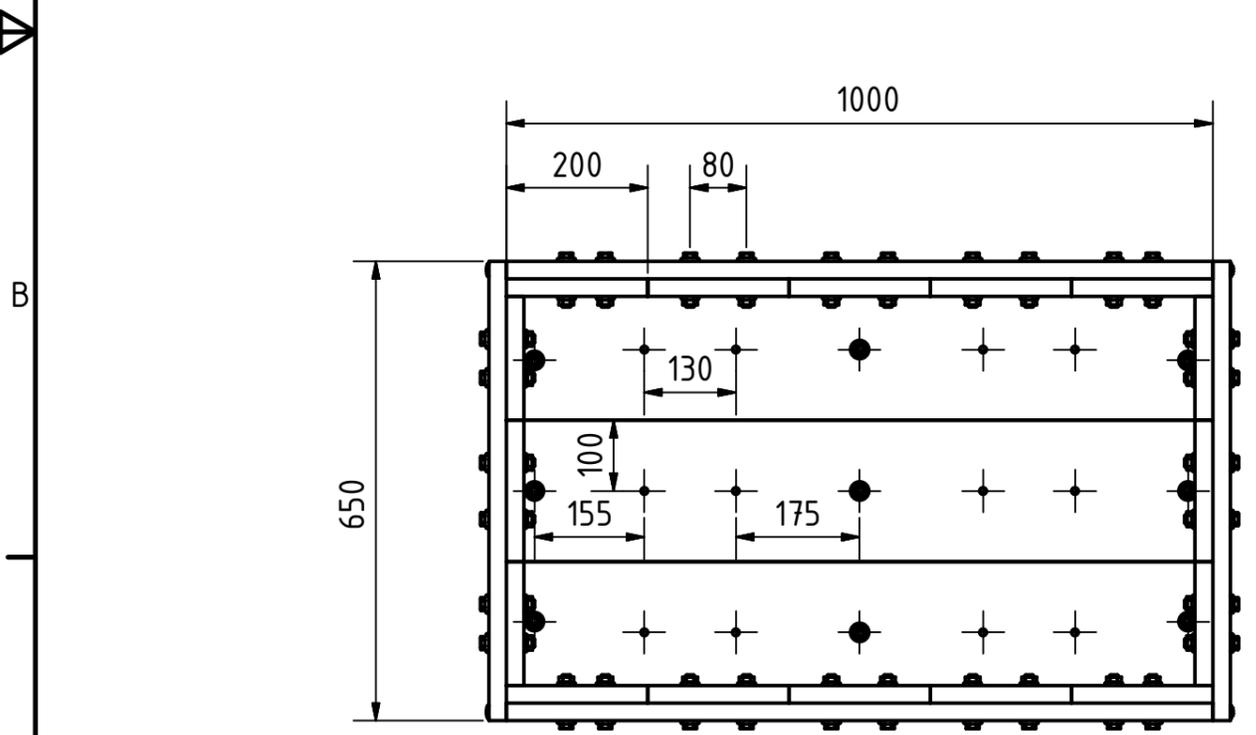
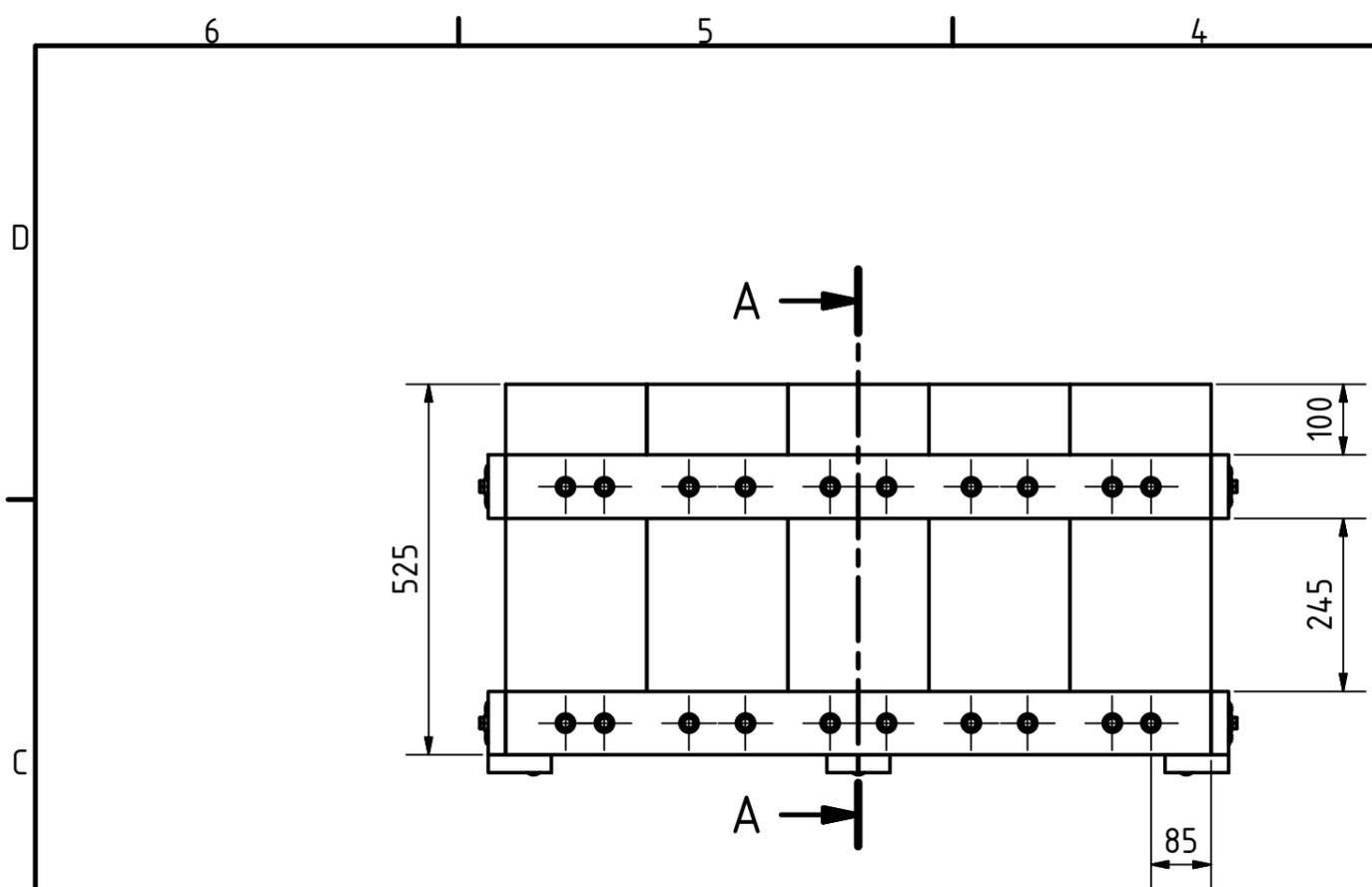
B (1 : 3)



A (1 : 8)



12	6	Tornillo Hexagonal M10x50		DIN 6921	
11	6	Perfil	Ac. Estructural A-36	GB/T 9788-1988	
10	6	Tornillo Hexagonal M12x45		DIN 6921	
9	6	Tuerca M12		DIN 6915	
8	6	Tuerca M10		DIN 555-5	
7	2	Silla	Madera Plástica		
6	4	Base Tubo Inclinada $\varnothing 3''$	Ac. Inoxidable		
5	4	Tubo $\varnothing 2'' 3/4$	Ac. Inoxidable		
4	4	Cadena			
3	4	Soporte Cadena	Ac. Inoxidable		
2	4	Unión $\varnothing 3''$	Ac. Inoxidable		
1	2	Tablón Sec 200x20mm	Madera Plástica		
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado		01/03/2011	CHRISTIAN COBOS M.		
Comprobado		15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO		
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA		
Escala: 1:10		Subconjunto:			
Lámina: 1		DISEÑO DE COLUMPIO			



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
4	64	Tuerca M12	Ac. Inoxidable	DIN 555	
3	64	Tomillo M12x65	Ac. Inoxidable	DIN 6923	
2	11	Tablón Sec. 90x25mm	Madera Plastica		
1	19	Tablón Sec. 200x25mm	Madera Plastica		

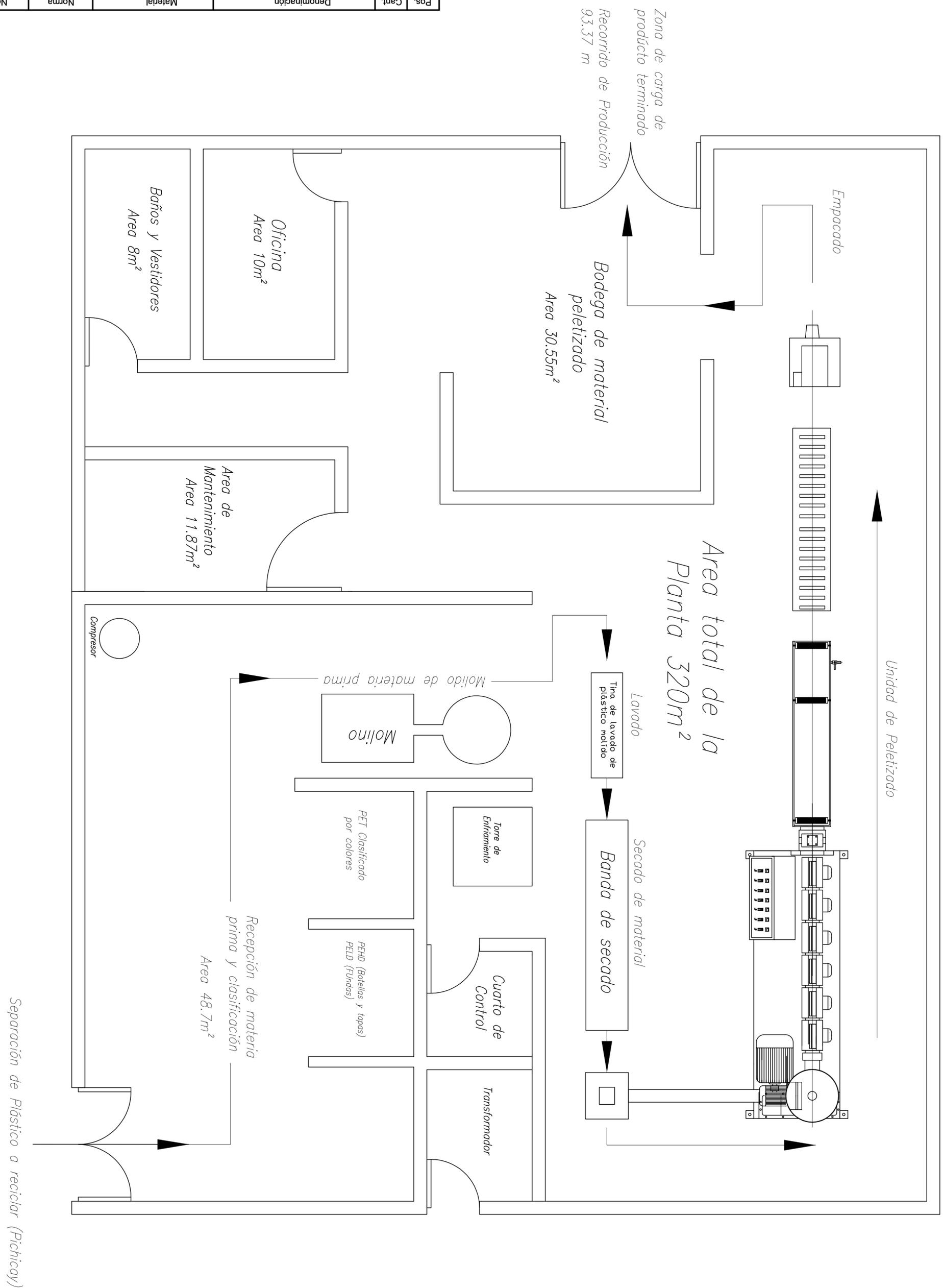
Fecha		Nombre		 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA
Dibujado	17/03/2011	CHRISTIAN COBOS M.		
Comprobado	15/12/2011	ING. JORGE FAJARDO		
PROYECTO DE GRADO			INGENIERIA MECANICA	

Escala: 1:15 Lámina: 6	Subconjunto: <h1>MACETERO</h1>
---------------------------	-----------------------------------

ANEXO L

DISEÑO DE LA PLANTA DE RECICLADO

Pos.		Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
Nombre						
Dibujado		10/11/2011	Christian M. Cobos.	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
Comprobado		15/12/2011	Ing. Jorge Fajardo	SEDE MATRIZ CUENCA		
ESCALA:		PLANTA DE RECICLADO DE PLÁSTICO DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA EMAC.				
1:50		Lámina No 01				



ANEXO M

**COTIZACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE
RECICLADO Y PARA PRODUCCIÓN DE MADERA PLÁSTICA**

OBRA CIVIL



INGENIERÍA MECÁNICA EN PRODUCCIÓN
Calle de la Bocina 2-27. Sector Parque Miraflores.
Contactos: 084250285 072340 – 185 Telefax: 072 867-
894

Cuenca a 31 de Agosto de 2011.

Señor:

Cristian Cobos

Presento la cotización de Diseño, Construcción y Montaje de una Estructura Metálica para Nave Industrial, y de los trabajos de Obra Civil requeridos en la misma.

Las medidas generales exteriores de la Nave industrial son:

- Ancho: 16m
- Largo: 20m
- Altura máxima: 8m

Nota: Especificaciones técnicas, referirse al plano de diseño adjunto.

Los costos son:

Rubro General: OBRA ESTRUCTURAL EN ACERO ASTM A 36.....\$ 45.600

Rubro General: OBRA CIVIL.....\$30.520

SUBTOTAL.....\$ 76.120

IVA.....\$9.134,40

TOTAL DE LA OBRA\$ 85.254,40

Son: Ochenta y cinco mil doscientos cincuenta y cuatro con 40/100 USD.

Nota: Detalle de rubros en costos unitarios. Por realizar archivos respectivos.

Tiempo de ejecución de las obras:

Obra Estructural en Acero de la Nave Industrial:

Fase: Construcción de partes en taller.....50 días laborables

Fase: Montaje de estructura metálica en sitio.....20 días laborables

Fase: Colocado de cubierta.....10 días laborables

Fase: Canaletas y bajantes.....8 días laborables

Obra Civil: General

Fase: Preparación de terreno.....12 días laborables

Fase: Cimentaciones.....20 días laborables

Fase: Paredes externas.....20 días laborables

Fase: Construcciones internas.....30 días laborables

Nota: Detalles de tiempos, en cronograma de trabajo a ser realizado.

Formas de pago:

70% a la firma del contrato

15% al avance del 80% de la obra Mecánica y Civil

15% contra entrega de trabajos terminados y aprobados.

Tiempo de vigencia de la oferta:

20 días laborables.

Con Atención,

Ing. Bolívar Barriga Guiracocha.

CONTRATISTA

Lic. Profesional: 04-01-048

CONTACTOS:

Celular: 084250285

Talleres: 07 2340 – 185

Telefax: 07 2867894

e-mail: ing.bolivarbarriga@hotmail.com

web: www.ingmeprod.tuswebs.org

MAQUINÁRIA



YARI MACHINES SA DE CV.

MEXICO D.F.

TEL: 55-4632 3721, CEL: 044-55 37228850

GUADALAJARA, JALISCO, R.F.C.: YMA070625824

FAX 33-3334 1870

México DF 25 de agosto , 2011.

COTIZACIÓN

Equipo completo de reciclado, TOTALMENTE NUEVA, modelo YR120-2

PTE de productor de extrusión de Peletización Producción 180kgs – 250kgs por
Hora

Las siguientes características:

- Extruder principal con usillo de 120 mm. De diámetro, y con un L/D de 30 a 1,
- Husillo especial
- Caja de engranes Tipo forzado, con su enfridor de aceite.
- Con motor principal de 90kw. A 440 volts.
- Con cambiador de mallas hidráulico, , con unidad de potencia de 2.2 kw.
- Inversor de frecuencias .120 hp
- Sistema de desgasificación al vacío un sistema 5.5kw
- Tablero de control de 10 zonas de calentamiento, con todo su instrumental de control, arrancador principal y sistema electrónico
- Tina de acero inoxidable, 2.5m
- Torre de enfriamiento .
- Molino peletizador de 5.5kw
- Todo el equipo viene con alimentación a 2.2kw.



YARI MACHINES SA DE CV.

MEXICO D.F.

TEL: 55-4632 3721, CEL: 044-55 37228850

GUADALAJARA, JALISCO, R.F.C.: YMA070625824

FAX 33-3334 1870

PRECIO..... US\$85000 DOLARES MAS EL IVA

ENTREGA.....EN NUESTRA BODEGA EN GUADALAJARA

GRANTIA.....UN AÑO, CUMBRE PARTES MECANICAS COMO HUSILLO Y CAJA DE ENGRANES.

SI EL MODELO DE MAQUINANO NO ESTA EN PAIS CUMPLE ESTE REQUISITO

FORMA DE PAGO40% AL CONFIRMAR EL PEDITO Y RESTO ANTES DE ENTREGA

EL TIEMPO DE ENTREGA, 90 DIAS DESPUES DE RECIBIR ANTICIPO.

CUENTA BANCARIA: **HSBC** YARI MACHINES SA DE CV

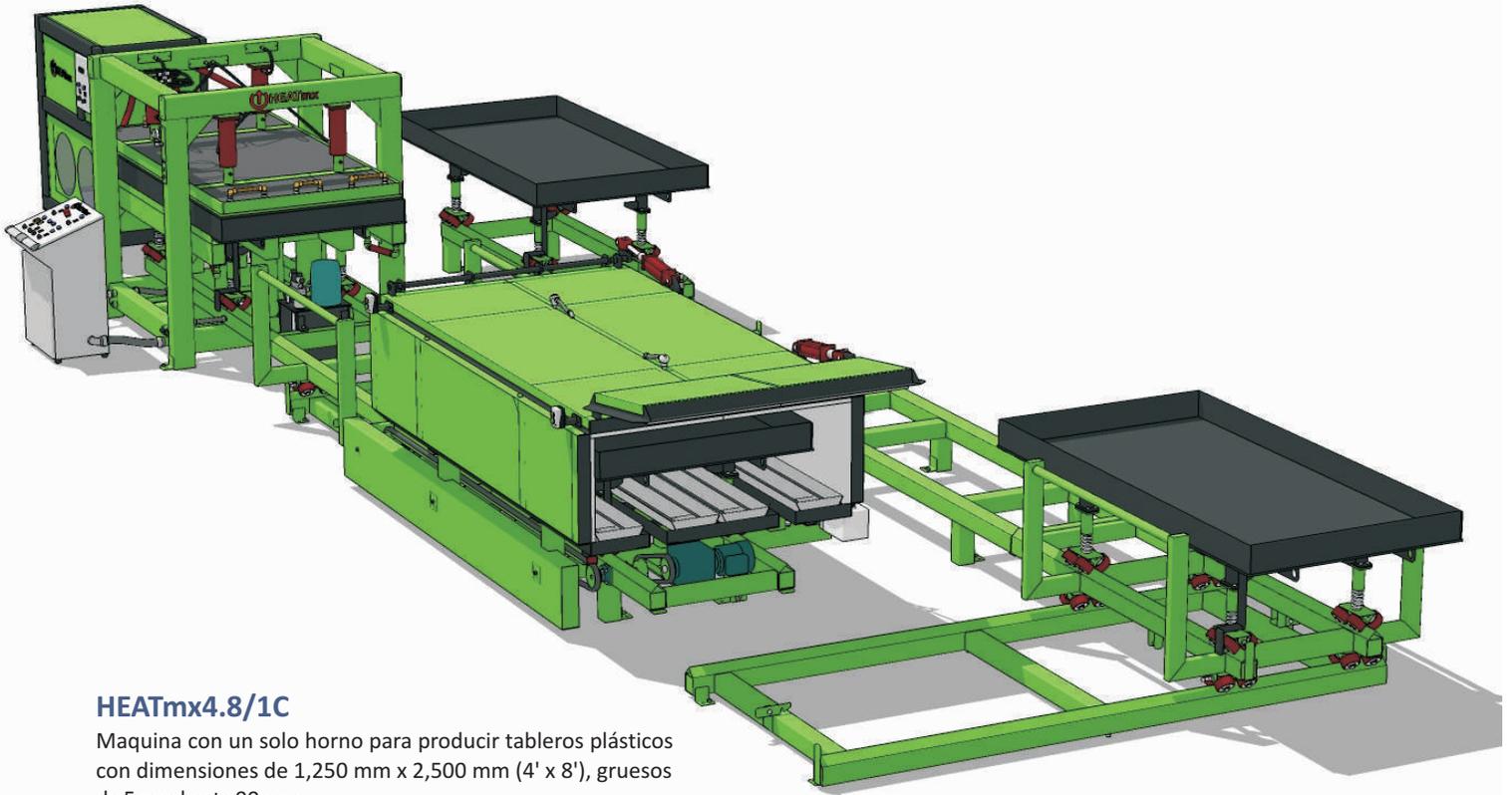
PESO: 4043894344

DÓLAR: 7003128287

Lic. Patricio Bustamante
Gerente en México D.F.
Cel 044 55 37228850
ofic 0052 5546323721
www.yarimachines.com
jim@yarimachines.com
patricio@yarimachines.com

FABRICANTE HEATmx S.A. de C.V. R.F.C. HEA070227 2G6 Carretera a San Isidro Mazatepec No. 240 interior B, Sta Cruz de las Flores, C.P. 45640 Jalisco, México				
FACTURA PROFORMA		0402		
FECHA		19 Enero de 2012		
CLIENTE EMAC Cuenca Cuenca, Ecuador			MARCAS "HEATmx"	
PUERTO DE SALIDA Manzanillo /México			PUERTO DE DESTINO Guayaquil/ Ecuador	
FECHA PREVISTA DE EMBARQUE 8 semanas de la fecha de confirmación			TRANSPORTISTA Global Slice, S.C. Calle Cuarzo No. 2379 int. 3 C.P. 44540 Guadalajara, México Tel. +52 33 3587 5607	
VALIDEZ DE LA OFERTA 30 días de la fecha de presentación				
INCOTERM		CIF Guayaquil, Ecuador		
CONDICIONES DE PAGO		60 % a la confirmación del pedido + 40 % antes de embarcar BBVA Bancomer Carlos Rivera Ulloa numero de cuenta: 0167132212 código interbancario CLABE: 012320001671322127 SWIFT: BCMRMXMM ABA: 6290692210		
ITEM	MERCANCÍA	CANT	PRECIO US\$	TOTAL US\$
01	maquina marca "HEATmx" mod. 4.8/1C para fabricar tableros plásticos, con producción de 60 kg a 70 Kg/hr. Consta de 1 camara de fundición con calefacción eléctrica; 1 estación prensa con 4 cilindros hidráulicos; sistema de refrigeración de agua de 5 tn (chiller); 4 moldes con suspensión de resorte y 16 ruedas con rodamientos cada uno; 2 cambios de vía; 2 carros porta moldes con 16 ruedas con rodamientos cada uno; estructura con rieles para circulación de moldes. Sistema eléctrico trifásico de 220 v y 60 Hz. Consumo de 45 Kw. Control de temperatura con máximo de 300 °C NCM: 8477.80.99	1	98,000.00	98,000.00
TOTAL EX WORKS			US\$	98,000.00
FLETE PLANTA/PUERTO DE SALIDA			US\$	1,700.00
GASTOS ADUANALES			US\$	800.00
FLETE MARÍTIMO Y MANIOBRAS (1 contenedor 40')			US\$	2,700.00
SEGURO			US\$	910.00
TOTAL			US\$	104,110.00
Ciento cuatro mil ciento diez dolares 00/100 US\$				
"Declaramos que las mercaderías son de origen mexicana y los precios indicados son realmente pagados o a pagarse" No incluye impuestos, traslados y maniobras en el país destino. Incluye instalación, puesta en marcha y capacitación.			PESO NETO	6,600 Kg aprox.
			PESO BRUTO	6,700 Kg aprox.

LCP



HEATmx4.8/1C

Maquina con un solo horno para producir tableros plásticos con dimensiones de 1,250 mm x 2,500 mm (4' x 8'), gruesos de 5 mm hasta 90 mm.

PRODUCCIÓN

60/70 kg/hr según dureza. En 8 horas se obtienen 560 kg ó nueve tableros de 20 mm de grueso. Con grueso menor a 15 mm, produce 46 kg/hr. Preparada para escalar la producción al doble.

CALEFACCIÓN

Por medio eléctrico, dos zonas con control de temperatura electrónico de hasta 300° Celsius

PRENSA

Una estación de prensa con sistema hidráulico de 70 tn con fuente de poder de 3 hp.

ENFRIAMIENTO

Enfriamiento incorporado a prensa, mediante un enfriador industrial de agua de 5 tn.

MOLDES

Se incluyen 4 moldes de acero, cada uno con 16 ruedas a 45° y suspensión de resorte. Los moldes corren sobre rieles a través del sistema; dentro del horno el movimiento es motorizado.

CONSUMO ELÉCTRICO

Consumo 45 kwh. Se requiere corriente eléctrica trifásica de 220 v ó 440 v a 60 hz; transformador de 112 kva (soporta periféricos como molino, sierra y herramientas diversas).

DIMENSIONES

Alto 1,970 mm

Ancho 4,800 mm

Largo 13,750 mm

PESO

Peso aproximado de 6,000 kg.

FABRICANTE HEATmx S.A. de C.V. R.F.C. HEA070227 2G6 Carretera a San Isidro Mazatepec No. 240 interior B, Sta Cruz de las Flores, C.P. 45640 Jalisco, México				
FACTURA PROFORMA		0403		
FECHA		19 Enero de 2012		
CLIENTE EMAC Cuenca Cuenca, Ecuador			MARCAS "HEATmx"	
PUERTO DE SALIDA Manzanillo /México			PUERTO DE DESTINO Guayaquil/ Ecuador	
FECHA PREVISTA DE EMBARQUE 8 semanas de la fecha de confirmación			TRANSPORTISTA Global Slice, S.C. Calle Cuarzo No. 2379 int. 3 C.P. 44540 Guadalajara, México Tel. +52 33 3587 5607	
VALIDEZ DE LA OFERTA 30 días de la fecha de presentación				
INCOTERM		CIF Guayaquil, Ecuador		
CONDICIONES DE PAGO		60 % a la confirmación del pedido + 40 % antes de embarcar BBVA Bancomer Carlos Rivera Ulloa numero de cuenta: 0167132212 código interbancario CLABE: 012320001671322127 SWIFT: BCMRMXMM ABA: 6290692210		
ITEM	MERCANCÍA	CANT	PRECIO US\$	TOTAL US\$
01	Molino de cuchillas Mexiplast para moler plástico; 3 cuchillas giratorias y 2 fijas; 30 hp, 220 v, trifásica; un juego de cuchillas de repuesto	1	13,600.00	13,600.00
02	Sierra circular HEATmxS para tableros de plástico; disco de 12" y 14"; cabezal de corte movable con motor reductor de 1/4 hp; motor de sierra de 5 hp, 220 v, trifásica.	1	13,300.00	13,300.00
TOTAL EX WORKS			US\$	26,900.00
FLETE PLANTA/PUERTO DE SALIDA			US\$	1,500.00
GASTOS ADUANALES			US\$	800.00
FLETE MARÍTIMO Y MANIOBRAS (1 contenedor 20')			US\$	2,500.00
SEGURO			US\$	250.00
TOTAL			US\$	31,950.00
Treinta y un mil novecientos cincuenta dolares 00/100 US\$				
"Declaramos que las mercaderías son de origen mexicana y los precios indicados son realmente pagados o a pagarse" No incluye impuestos, traslados y maniobras en el país destino. Incluye instalación, puesta en marcha y capacitación.			PESO NETO	1,800 Kg aprox.
			PESO BRUTO	1,900 Kg aprox.





sierra de mesa HEATmxS



molino de cuchillas
MEXIPLAST

INSTALACIÓN ELÉCTRICA



- Instalaciones Residenciales
- Iluminación Decorativa
- Instalación de Alarmas
- Camaras de Vigilancia
- Camaras de Vigilancia
- Puertas Automaticas
- Porteros Eléctricos
- Cercos Eléctricos

PROFORMA

FECHA: Cuenca 8 Diciembre del 2010

CLIENTE: Sr. Christian Cobos

ATENCIÓN:

CANT	DETALLE	P/UNIT(\$)	P/TOTAL(\$)
13	lamparas industrial 2 x 40 balastro.	31,00	403,00
16	Reflector HQI de 220V 400W.	115,00	1.840,00
5	Interruptores IO mas placa	9,30	46,50
8	Interruptores simple	1,46	11,68
4	Conmutadores simples	1,73	6,92
23	Tomacorrientes de 110V.	2,07	47,61
5	Face plase	0,78	3,90
4	Barras de cobre. 3/8	32,53	130,12
11	Bases de ceramicas.	2,99	32,89
3	Fusibles NH.	8,00	24,00
1	Caja de Breakers de 20 servicios bi fasica	123,00	123,00
13	Rollos de cable #14	34,30	445,90
14	Rollos de cable #12	51,01	714,14
10	Cable #6	4,00	40,00
16	500 MCM (Cable)	5,84	93,44
135	Cable #10	0,77	103,95
45	Cable #4	4,88	219,60
1	Tuberia PVC de 3" mas accesorios	3,83	3,83
5	Tuberia PVC de 2" mas accesorios	1,90	9,50
1	Seccionador de 500 Am	1.200,00	1.200,00
70	Tubos EMT 1/2	2,75	192,50
50	Tubo EMT 3/4	4,30	215,00
1	Gabinete Metalico	200,00	200,00
1	Seccionador	348,00	348,00
100	Uniones de media pulgada	0,29	29,00
60	Conectors de 1/2"	0,33	19,80
100	Uniones EMT 3/4"	0,37	37,00
60	Conectores de 3/4"	0,45	27,00
100	Cajetines redondos octogonal grande	0,49	49,00
5	Brakers de 5 Am	5,2	26,00
3	Brakers bi fasicos de 20 Am	27	81,00
100	Cable #2	7	700,00

3	Brakers bi fasicos de 20 Am	27	81,00
100	Cable #2	7	700,00
10	Jack RJ 45	0,18	1,80
10	Jack para ponchar	2	20,00
1	Patch panel de 16 puertos	46,24	46,24
1	Switch para red de 16 puertos	88,03	88,03
1	Transformador para 400 Am	15000	15.000,00
1	Mano de obra	7000	7.000,00
subtotal			29.580,35
Imprevistos		5%	32.538,39
Subtotal:			32.538,39
00%IVA :			
TOTAL			32.538,39

Por la favorable acogido que dara a la misma le extiendo mis senceros
agradecimientos

Nota. Estos precios incluyen IVA

Atentamente,

John Criollo G.
Telf: 088838063
(07)2870703

EQUIPO INFORMÁTICO



Fecha: 05-dic-11

CLIENTE: CHRISTIAN COBOS
ASUNTO: PROFORMA PUNTO COM

Cant	Descripción	P. Unit	P. Total p. Total
3	Case Super Power Mainboard @ DH55HC 1333 Mhz LGA Intel® Core™ i5 3,1Ghz 6 MB Cache 4096MB de Memoria DDR3 a 1333 MHz Disco duro 1000GB Samsung SATA DVD Writer 24X SATA Lg / Samsung Monitor 18,5" LCD Flat Panel Lg/Samsung/Aoc. Teclado Windows, Parlantes Mouse Optico Genius Regulador de Voltaje, Camara Web, Pad Mouse.	669,64	2.008,93
1	IMPRESORA HP OFFICEJET 4575	84,82	84,82
		SUBTOTAL	2.093,75
		IVA 12%	251,25
		TOTAL	\$ 2.345,00
CONDICIONES DE COMERCIALIZACIÓN:			
PRECIOS: Precios locales descritos en Dólares, Incluye I.V.A.			
INSTALACIÓN: La instalación del hardware realizará sin costo adicional.			
FORMA DE PAGO: A Convenir			
PLAZO ENTREGA: Inmediata a Domicilio			
INSTALACIÓN: La instalación se realizará previa inspección de red de tierra.			
GARANTÍA: (1) año de garantía directa en el hardware contra daños de Fabricación			
VALIDEZ OFERTA: (10) días a partir de su entrega			

Atentamente
PUNTO COM

Agencia Centro: Sucre y Tomas Ordoñez 7-94 Sector San Blas.

Agencia Estadio: Av. José Peralta y Alfonso Cordero 2-18.

- Principal: Sucre y Tomás Ordoñez esq. Telf.: 2829503
- Agencia Estadio: Av. José Peralta y Alfonso Cordero esq. Telf.: 4103419
- Centro de Soporte técnico: Tomás Ordonez 7-90 y Sucre. Telf.: 2829753

ANEXO N

**ANÁLISIS ECONÓMICOS DE DOS PROPUESTAS PARA RECICLADO DE
PLÁSTICO DESECHADO EN LA CIUDAD DE CUENCA**

ARUC

COSTOS E INGRESOS

CANTIDAD DE INSUMOS A UTILIZAR EN LA PRODUCCION											
RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Plástico PET (toneladas anuales)	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
Recicladores tiempo completo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Recicladores temporales	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Jefe de producción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ing. Mecánico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contadora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PRODUCCION PLASTICO PELETIZADO	288										

COSTOS UNITARIOS DE PROCESAMIENTO EN DOLARES AMERICANOS											
CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Precio por tonelada de plástico PET	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
Costo unitario anual de personal de recicladores tiempo completo	3,514.44	3,690.16	3,874.67	4,068.40	4,271.82	4,485.41	4,709.69	4,945.17	5,192.43	5,452.05	5,724.65
Costo unitario anual de personal de reciclado temporales	960.00	1,008.00	1,056.40	1,111.32	1,166.89	1,223.23	1,280.49	1,339.82	1,418.36	1,489.29	1,563.74
Jefe de producción	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ing. Mecánico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contadora	1,800.00	1,890.00	1,984.50	2,083.73	2,187.91	2,297.31	2,412.17	2,532.78	2,659.42	2,792.39	2,932.01

INSUMOS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Precio total de plástico PET por año/tonelada	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00
Costo anual de personal de recicladores tiempo completo	7,028.88	14,760.65	15,498.68	16,273.61	17,087.30	17,941.66	18,838.74	19,780.68	20,769.11	21,808.20	22,898.61
Costo anual de personal de reciclado temporales	6,720.00	14,112.00	14,817.60	15,558.48	16,336.40	17,153.22	18,010.89	18,911.43	19,857.00	20,849.85	21,892.34
Jefe de producción	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ing. Mecánico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contadora	900.00	1,890.00	1,984.50	2,083.73	2,187.91	2,297.31	2,412.17	2,532.78	2,659.42	2,792.39	2,932.01
Costo total por año	57,848.88	73,962.65	75,500.78	77,115.82	78,811.61	80,592.19	82,461.80	84,424.89	86,486.14	88,650.44	90,922.96
Cto. Unt. antes de gtos/ tonelada	200.86	258.81	262.16	267.76	273.65	279.83	286.33	293.14	300.30	307.81	315.70

INVERSIONES	COSTO
Terreno	0.00
Infraestructura de la planta de reciclado de plástico	0.00
Instalaciones eléctricas de la planta de reciclado de plástico	0.00
Unidad completa de extrusión pelletizado	0.00
Molino yari machines Modelo Yari 600 HR	0.00
Lavadora de plástico molido	0.00
Borno de lavado de plástico	0.00
Ventiladores (2)	0.00
Equipos informáticos	1,000.00
Muebles y enseres	1,000.00
Total Inversiones	2,000.00

DEPRECIACION					
Años	Construcción	Maquinaria	Equipos Informáticos	Muebles y enseres	Tot. Dep. An.
Año 0	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 1	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 2	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 3	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 4	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 5	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 6	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 7	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 8	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 9	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30
Año 10	0.00	0.00	333.30	100.00	433.30

GASTOS GENERALES											
CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Químicos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agua	200.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Aceites	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía eléctrica	200.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Mantenimiento mecánico	0.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Gastos Generales	400.00	3,000.00									

FLUJO DE FONDOS											
RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversiones	2,000.00										
Plástico PET (toneladas anuales)	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00	43,200.00
Costo anual de personal de recicladores tiempo completo	7,028.88	14,760.65	15,498.68	16,273.61	17,087.30	17,941.66	18,838.74	19,780.68	20,769.11	21,808.20	22,898.61
Costo anual de personal de reciclado temporales	6,720.00	14,112.00	14,817.60	15,558.48	16,336.40	17,153.22	18,010.89	18,911.43	19,857.00	20,849.85	21,892.34
Jefe de producción	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ing. Mecánico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contadora	900.00	1,890.00	1,984.50	2,083.73	2,187.91	2,297.31	2,412.17	2,532.78	2,659.42	2,792.39	2,932.01
Total Gastos Generales	400.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00
Depreciación	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30	433.30
Totales	60,682.18	77,395.95	78,934.08	80,546.12	82,244.81	84,025.49	85,895.10	87,858.19	89,919.44	92,083.74	94,356.26
INGRESOS	86,400.00										
Ventas de plástico pelletizado por año (KILOS)	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00	288,000.00
Precio de Venta/KILO	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Flujo de fondos	25,717.82	9,004.05	7,465.92	5,850.88	4,155.09	2,374.51	504.90	-1,458.19	-3,519.44	-5,683.74	-7,956.26
VAN*	41,198.65										
Costo Unitario anual	0.20	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.32	0.33

VAN	0.10	41,198.65	576,000.00
TIR	0.10	-13.25%	

VALOR ACTUAL NETO POR PERÍODO	
AÑO 1	8,185.50
AÑO 2	6,170.18
AÑO 3	4,395.85
AÑO 4	2,837.98
AÑO 5	1,724.38
AÑO 6	285.00
AÑO 7	-748.28
AÑO 8	-1,641.94
AÑO 9	-2,410.46
AÑO 10	-3,067.48
Σ INGRESOS A VP	15,480.83
FLUJO AÑO 0	25,717.82
VAN	41,198.65

RELACION BENEFICIO/COSTO	
\$ 757,614.43	costos a valor presente
950,400.00	Ingresos a valor presente
1.25	B/C

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO	
COSTOS FIJOS	33,195.95
COSTOS VARIABLES	46,200.00
COSTOS TOTALES	79,395.95
VENTAS	77,395.95
punto de equilibrio = $\frac{CF}{1 - \frac{CV}{P \times Q}}$	33,195.95
	0.40
	82,357.87

GASTOS GENERALES											
CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Químicos	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Agua	500,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Aceites	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Energía eléctrica	4.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00
Mantenimiento mecánico	0,00	2.500,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Gastos Generales	6.500,00	13.500,00	16.000,00								

FLUJO DE FONDOS											
RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversiones	232.954,81										
Plástico PET (toneladas anuales)	15.444,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00
Costo anual de personal de procesamiento	17.411,94	36.565,07	38.393,33	40.312,99	42.328,64	44.445,08	46.667,33	49.000,70	51.450,73	54.023,27	56.724,43
Costo anual de personal de almacenamiento	4.974,84	10.447,16	10.969,52	11.518,00	12.093,90	12.698,59	13.333,52	14.000,20	14.700,21	15.435,22	16.206,98
Jefe de producción	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Ing. Mecánico	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Secretaria	2.565,84	5.388,26	5.657,68	5.940,56	6.237,59	6.549,47	6.876,94	7.220,79	7.581,83	7.960,92	8.358,97
Total Gastos Generales	6.500,00	13.500,00	16.000,00								
Depreciación	9.041,44	18.082,88	18.082,88	17.599,26	18.082,88	18.082,88	17.599,26	18.082,88	18.082,88	17.599,26	18.082,88
Totales	298.759,39	166.479,08	172.635,09	175.990,28	180.504,65	184.736,94	188.697,22	193.846,94	198.746,34	203.407,09	209.292,30
INGRESOS	135.792,00	271.584,00									
Ventas de plástico peletizado por año (KILOS)	226.320,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00
Precio de Venta/KILO	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Flujo de fondos	-162.967,39	105.104,92	98.948,91	95.593,72	91.079,35	86.847,06	82.886,78	77.737,06	72.837,66	68.176,91	62.291,70
VAN*	375.901,05										
Costo Unitario anual	0,25	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42

VAN	10%	\$ 375.901,05
TIR	0,10	0,591789283

678.960,00

VALOR ACTUAL NETO POR PERÍODO	
AÑO 1	95549,93021
AÑO 2	81775,9616
AÑO 3	71820,98045
AÑO 4	62208,42337
AÑO 5	53925,19415
AÑO 6	46787,42839
AÑO 7	39891,40549
AÑO 8	33979,30658
AÑO 9	28913,66524
AÑO 10	24016,14581
Σ INGRESOS A VP	638888,4413
FLUJO AÑO 0	-162.967,39
VAN	375901,0499

RELACION BENEFICIO/COSTO	
1833981,133	costos a valor presente
2851632	Ingresos a valor presente
1,55	B/C

Determinación de Costo por kilogramo	
Items	Costos
Plástico PET (toneladas anuales)	15.444,00
Costo anual de personal de procesamiento	17.411,94
Costo anual de personal de almacenamiento	4.974,84
Jefe de producción	4.933,26
Ing. Mecánico	4.933,26
Secretaria	2.565,84
Total Gastos Generales	6.500,00
Depreciación	9.041,44
Total	65.804,58
Costo unitario neto por kilo de plástico peletizado	0,32
Margen de utilidad 50%	0,16
CVP	0,48

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO	
COSTOS FIJOS	324157,8868
COSTOS VARIABLES	75276
COSTOS TOTALES	399433,8868
VENTAS	166479,0768
	324.157,89
	0,55
	591707,0742

$$\text{punto de equilibrio} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{P \times Q}}$$

Planta de Producción de Madera Plástica

COSTOS E INGRESOS

CANTIDAD DE INSUMOS A UTILIZARSE EN LA PRODUCCION

RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Plástico PET (toneladas anuales)	205,92	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84	411,84
Personal para procesamiento	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Personal para almacenamiento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Jefe de producción	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ing. Mecánico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Secretaria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PRODUCCION PLÁSTICO PELETIZADO	226,32	452,64									

COSTOS UNITARIOS DE PROCESAMIENTO EN DOLARES AMERICANOS

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Precio por tonelada de plástico PET	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Costo unitario anual de personal de procesamiento	4974,84	5223,582	5484,7611	5758,999155	6046,949113	6349,296568	6666,761397	7000,099467	7350,10444	7717,609662	8103,490145
Costo unitario anual de personal de almacenamiento	4974,84	5.223,58	5.484,76	5.759,00	6.046,95	6.349,30	6.666,76	7.000,10	7.350,10	7.717,61	8.103,49
Jefe de producción	9866,52	10359,846	10877,8383	11421,73022	11992,81673	12592,45756	13222,08044	13883,18446	14577,34369	15306,21087	16071,52141
Ing. Mecánico	9866,52	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Secretaria	5079,24	5333,202	5599,8621	5879,855205	6173,847965	6482,540364	6806,667382	7147,000751	7504,350788	7879,568328	8273,546744

COSTO TOTAL DE PROCESAMIENTO POR AÑO

INSUMOS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Precio total de plástico PET por año/tonelada	15.444,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00
Costo anual de personal de procesamiento	17.411,94	36.565,07	38.393,33	40.312,99	42.328,64	44.445,08	46.667,33	49.000,70	51.450,73	54.023,27	56.724,43
Costo anual de personal de almacenamiento	4.974,84	10.447,16	10.969,52	11.518,00	12.093,90	12.698,59	13.333,52	14.000,20	14.700,21	15.435,22	16.206,98
Jefe de producción	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Ing. Mecánico	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Secretaria	2.539,62	5.333,20	5.599,86	5.879,86	6.173,85	6.482,54	6.806,67	7.147,00	7.504,35	7.879,57	8.273,55
Costo total por año	50.236,92	134.841,13	138.494,39	142.330,31	146.358,02	150.587,12	155.027,68	159.690,26	164.585,98	169.726,48	175.124,00
Cto. Unt. antes de gtos/ tonelada	221,97	297,90	305,97	314,44	323,34	332,69	342,50	352,80	363,61	374,97	386,89

INVERSIONES	COSTO
Terreno	0,00
Infraestructura de la planta de reciclado de plástico	85.254,40
Instalaciones eléctricas de la planta de reciclado de plástico	32.538,39
Máquina "HEATmx" mod. 4,8/1C Para fabricar tableros plasticos	104.110,00
Molino de cuchillas Mexiplast	16.125,00
Siwerra circular "HEATmxS	15.825,00
Horno de secado de plástico	4.480,00
Ventiladores (2)	1.000,00
Equipos informáticos	2.902,02
Muebles y enseres	1.000,00
Total Inversiones	263.234,81

DEPRECIACION

Años	Construcción	Maquinaria	Equipos Informáticos	Muebles y enseres	Tot. Dep. An.
Año 0	2.944,82	7.077,00	483,62	50,00	10.555,44
Año 1	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 2	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 3	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 4	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 5	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 6	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 7	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 8	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 9	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88
Año 10	5.889,64	14.154,00	967,24	100,00	21.110,88

GASTOS GENERALES											
CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Químicos	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Agua	500,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Aceites	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
Energía eléctrica	4.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00
Mantenimiento mecánico	0,00	2.500,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Gastos Generales	6.500,00	13.500,00	16.000,00								

FLUJO DE FONDOS											
RUBROS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversiones	263.234,81										
Plástico PET (toneladas anuales)	15.444,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00	61.776,00
Costo anual de personal de procesamiento	17.411,94	36.565,07	38.393,33	40.312,99	42.328,64	44.445,08	46.667,33	49.000,70	51.450,73	54.023,27	56.724,43
Costo anual de personal de almacenamiento	4.974,84	10.447,16	10.969,52	11.518,00	12.093,90	12.698,59	13.333,52	14.000,20	14.700,21	15.435,22	16.206,98
Jefe de producción	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Ing. Mecánico	4.933,26	10.359,85	10.877,84	11.421,73	11.992,82	12.592,46	13.222,08	13.883,18	14.577,34	15.306,21	16.071,52
Secretaria	2.539,62	5.333,20	5.599,86	5.879,86	6.173,85	6.482,54	6.806,67	7.147,00	7.504,35	7.879,57	8.273,55
Total Gastos Generales	6.500,00	13.500,00	16.000,00								
Depreciación	10.555,44	21.110,88	21.110,88	20.627,26	21.110,88	21.110,88	20.627,26	21.110,88	21.110,88	20.627,26	21.110,88
Totales	330.527,17	169.452,01	175.605,27	178.957,57	183.468,91	187.698,01	191.654,94	196.801,15	201.696,86	206.353,74	212.234,88
INGRESOS	135.792,00	271.584,00									
Ventas de plástico peletizado por año (KILOS)	226.320,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00	452.640,00
Precio de Venta/KILO	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Flujo de fondos	-194.735,17	102.131,99	95.978,73	92.626,43	88.115,09	83.885,99	79.929,06	74.782,85	69.887,14	65.230,26	59.349,12
VAN*	325.937,17										
Costo Unitario anual	0,25	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42

Determinación de Costo por kilogramo	
Items	Costos
Plástico PET (toneladas anuales)	15.444,00
Costo anual de personal de procesamiento	17.411,94
Costo anual de personal de almacenamiento	4.974,84
Jefe de producción	4.933,26
Ing. Mecánico	4.933,26
Secretaria	2.539,62
Total Gastos Generales	6.500,00
Depreciación	10.555,44
Total	67.292,36
Costo unitario neto por kilo de plástico peletizado	0,33
Margen de utilidad 50%	0,16
CVP	0,49

VAN	10%	\$ 325.937,17
TIR	0,10	47%

VALOR ACTUAL NETO POR PERÍODO	
AÑO 1	92847,2593
AÑO 2	79321,26333
AÑO 3	69591,60844
AÑO 4	60183,79469
AÑO 5	52086,60153
AÑO 6	45117,86951
AÑO 7	38375,42779
AÑO 8	32602,86618
AÑO 9	27663,99869
AÑO 10	22881,65355
Σ INGRESOS A VP	520672,343
FLUJO AÑO 0	-194.735,17
VAN	325937,1716

RELACION BENEFICIO/COSTO	
1889393,226	costos a valor presente
2851632	Ingresos a valor presente
1,51	B/C

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO	
COSTOS FIJOS	357410,8248
COSTOS VARIABLES	75276
COSTOS TOTALES	432686,8248
VENTAS	169452,0148
punto de equilibrio = $\frac{CF}{1 - \frac{CV}{P \times Q}}$	357.410,82
	0,56
	643093,5149