



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA
PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.

AUTOR:
ING. MARCELL D. CAJIAO

TUTOR:
DR. SOURI ANDERI

VALENCIA, 30 DE JUNIO DE 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA
PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.

AUTOR:
ING. MARCELL D. CAJIAO

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de Carabobo para
optar al Título de Magister en Ingeniería de
Procesos.

VALENCIA, 30 DE JUNIO DE 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA
PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA.

AUTOR:
ING. MARCELL D. CAJIAO

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de Carabobo para
optar al Título de Magister en Ingeniería de
Procesos.

VALENCIA, 30 DE JUNIO DE 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO



ACTA DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Por medio de la presente hacemos constar que el Proyecto de Trabajo de Grado titulado: **"DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA"** Presentado por el ciudadano: **Marcell D. Cajiao**, alumno regular del Programa de Maestría en **INGENIERÍA DE PROCESOS**, reúne los requisitos exigidos para la inscripción.


El **Prof. Sauri Anderi**, Aceptó la tutoría de este Trabajo, según Constancia anexa.

En Valencia, a los veintiséis días del mes de febrero del año Dos mil Nueve

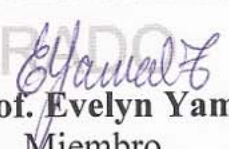
Por la Comisión Coordinadora:


Prof. Olga Martínez
Jefe del Programa




Prof. Alberto Mieres
Miembro




Prof. Evelyn Yamal
Miembro

Aneidda



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
 ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado:
DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. Presentado por:
 ING. MARCELL CAJIAO, para optar al título de MAGISTER EN INGENIERÍA DE PROCESOS, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: _____

Nombre, Apellido, C.I., Firma del Jurado

VALENCIA, 30 DE JUNIO DE 2011

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres
Gilberto Cajiao y María Cristina Portela fundadores de la empresa
Kruger – Brent, C.A., principales pilares en mi formación
académica y personal.

Marcell Cajiao

Junio, 2011

RECONOCIMIENTO

Al grupo de compañeros, ahora colegas que estudiamos
juntos en la ilustre Universidad de Carabobo, en la escuela de
Ingeniería Mecánica, quienes me animaron a iniciar
Estudios de postgrado.
Así como también a mi padre por su colaboración,
al tutor por su asesoría,
y a la empresa por su disposición a nuevos desarrollos.

Marcell Cajiao

Junio, 2011

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema	6
1.3 Objetivos de la investigación	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Justificación	7
1.5 Limitaciones	9
1.6 Alcance	10
CAPÍTULO II	11
2 MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Bases teóricas	18
2.2.1 Madera	22
2.2.2 Plástico	24
2.2.3 Refuerzos	29
2.2.4 Aditivos de procesamiento	30
2.2.5 Mezclado	34
2.2.6 Extrusión	34
2.3 Marco conceptual	38
CAPÍTULO III	43
3 MARCO METODOLÓGICO	43
3.1 Tipo y nivel de la investigación	43
3.2 Diseño de la investigación	44
3.3 Población y muestra	45
3.4 Fases de la investigación	46

CAPÍTULO IV	59
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1 Estudio del tipo de plástico, madera y aditivos que se requieren en la mezcla para producir madera plástica.....	59
4.2 Adaptación de la materia prima nacional para obtener madera plástica	60
4.3 Diseño de un dispositivo capaz de producir madera plástica con elementos de procura nacional	65
4.4 Producción de prototipos de madera plástica a través del proceso diseñado	70
4.5 Comparación del prototipo de madera plástica obtenido con producto importado mediante ensayos físicos	74
4.5.1 Ensayos de laboratorio a la madera plástica de Kruger Brent	76
4.5.2 Comparación de resultados con el producto importado	81
4.5.3 Análisis de la comparación entre madera plástica venezolana con la colombiana	81
4.6 Evaluación de la factibilidad económica del desarrollo de un proceso productivo de madera plástica en Venezuela	85
4.6.1 El precio de venta	87
4.6.2 El valor actual del proyecto a escala piloto	89
4.6.3 La tasa interna de retorno del proyecto a escala piloto	92
4.6.4 Escala industrial	92
4.6.5 El valor actual del proyecto a escala industrial	94
4.6.6 La tasa interna de retorno del proyecto a escala industrial	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÉNDICES	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Perfil de compuesto de madera plástica	22
Figura 2.2 – Etileno	39
Figura 2.3 – Aserrín y gránulos de plástico	40
Figura 2.4 – Extrusora mono-husillo para perfiles de compuestos de madera plástica	40
Figura 2.5 – Dado o cabezal de una extrusora produciendo un perfil de compuesto de madera plástica	41
Figura 2.6 – Envases de plástico compactados para reciclaje primario	42
Figura 2.7 – Criba de lámina perforada especial para molinería	42
Figura 3.1 – Esquema de adaptación de la materia prima plástica	48
Figura 3.2 – Trituradora fabricada en Kruger – Brent, Valencia, Venezuela	49
Figura 3.3 – Molino para plásticos de Kruger – Brent	50
Figura 3.4 – Esquema de corte de las partes que componen una extrusora mono-husillo típico	50
Figura 4.1 – Esquema del proceso de producción de madera plástica de la empresa Kruger – Brent, C.A.	63
Figura 4.2 – Extrusora mono-husillo y sus partes	67
Figura 4.3 – Extrusora mono-husillo fabricada en Kruger – Brent en Valencia, Venezuela	69
Figura 4.4 – Mesclador-secador fabricado en Kruger – Brent en Valencia, Venezuela	70
Figura 4.5 – Muestras de madera plástica elaboradas con diferentes formulaciones	73
Figura 4.6 – Prototipos de madera plástica: perfil rectangular (tabla), perfil cuadrado (listón) y perfil circular (barra)	74
Figura 4.7 – Perfil de madera plástica de Maderplast, Colombia	75
Figura 4.8 – Máquina Galdabini para ensayos mecánicos, Universidad de Carabobo	79
Figura 4.9 – Gráficos de esfuerzo-deformación realizados a la madera plástica	80
Figura 4.10 – Línea de tiempo del proyecto a escala piloto	91
Figura 4.11 – Línea china de extrusión para perfiles de madera y plástico	93
Figura 4.12 – Línea de tiempo del proyecto a escala industrial	95

Figura B.1 – Gránulos o pellets de plástico	111
Figura B.2 – Perfiles extruidos de madera plástica	111
Figura B.3 – Paletas de carga (Pallet). Producto terminado de madera plástica	111
Figura B.4 – Productos terminados de madera plástica. Paletas, muelles, terrazas, barandas, pisos y piezas de muebles	112
Figura B.5 – Productos terminados de madera plástica ideal para usos exteriores. Kioskos, casetas, puertas, ventanas, sillas y bancos	112
Figura B.6 – Plástico tipo pelusa de diferentes colores	112
Figura C.1 – Esquema de máquina extrusora fabricada en Kruger – Brent, Valencia, Venezuela	114
Figura D.1 – Zonas de temperatura recomendable para la elaboración de PEAD....	115
Figura D.2 – Zonas de temperatura recomendable para la elaboración de PEBD....	116
Figura E.1 – Prueba de compresión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad de los Andes	117
Figura E.2 – Prueba de compresión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia	118
Figura E.3 – Prueba de flexión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad de los Andes	119
Figura E.4 – Ensayo de flexión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia	120
Figura E.5 – Ensayo de densidades a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia	121
Figura E.6 – Información técnica de madera plástica de Maderplast	122
Figura E.7 – Información de venta de madera plástica de Maderplast	123
Figura E.8 – Información de venta de tabla de madera plástica de Maderplast	124
Figura F.1 – Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos	125
Figura F.2 – Método de prueba estándar para determinar la resistencia del impacto del péndulo Izod de los plásticos	126
Figura F.3 – Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 – Densidad de los polímeros estudiados	29
Tabla 3.1 – Formulaciones para los prototipos de madera plástica	52
Tabla 4.1 – Criterios y calificación para la matriz de selección	60
Tabla 4.2 – Matriz de selección del tipo de plástico	60
Tabla 4.3 – Composición de la mezcla para producir madera plástica	61
Tabla 4.4 – Presentación del plástico encontrado en Carabobo	62
Tabla 4.5 – Procedimientos para adaptar el plástico a la forma requerida	64
Tabla 4.6 – Elementos para la construcción de la extrusora	64
Tabla 4.7 – Problemas y soluciones en la puesta a punto de la extrusora	67
Tabla 4.8 – Características del mezclador - secador	71
Tabla 4.9 – Formulaciones usadas para producir madera plástica	71
Tabla 4.10 – Dimensiones de los perfiles de madera plástica	73
Tabla 4.11 – Ensayo de compresión	76
Tabla 4.12 – Ensayo de flexión	77
Tabla 4.13 – Ensayo de tracción	78
Tabla 4.14 – Ensayo de densidad	78
Tabla 4.15 – Comparación de ensayos físicos realizados a la madera plástica de Kruger Brent en Venezuela con la importada de Maderplast en Colombia	81
Tabla 4.16 – Productos comercializados por Maderplast en Colombia	84
Tabla 4.17 – Inversión inicial para producir madera plástica a escala piloto	85
Tabla 4.18 – Inflación acumulada desde el año 2007 hasta el 2010 en Venezuela.....	86
Tabla 4.19 – Cifras utilizadas para la evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica	86
Tabla 4.20 – Precio de venta de la madera plástica de Maderplast en Colombia	87
Tabla 4.21 – Precio de venta de paletas de carga de madera y de plástico en Venezuela.....	88
Tabla 4.22 – Precio de venta de la madera plástica hecha en Venezuela comparado con madera, plástico y madera plástica colombiana	88
Tabla 4.23 – Capacidad del proceso de producción de madera plástica a escala piloto	90
Tabla 4.24 – Cifras utilizadas para la evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso a escala industrial	94
Tabla 4.25 – Resumen de capacidad del proceso de producción de madera plástica versus inversión inicial	97

Tabla A.1 – D.S.I. (Desarrollo sistemático de la investigación)	108
Tabla G.5.1 – Precio de venta de la madera plástica de “alto impacto” de Maderplast, Colombia	129
Tabla G.5.2 – Precio de venta de la madera plástica de “medio impacto” de Maderplast, Colombia	129
Tabla G.5.3 – Precio de venta de la madera plástica de “reciclado” de Maderplast, Colombia	130
Tabla G.7.1 – Valor actual del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)	134
Tabla G.7.2 – Factores de interés $i = 30\%$ correspondiente a períodos compuestos discretos	134
Tabla G.7.3 – Tasa interna de retorno del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)	135
Tabla G.13.1 – Valor actual del proyecto a escala industrial (cifras en Bolívares)	139
Tabla G.13.2 – Factores de interés $i = 30\%$ correspondiente a períodos compuestos discretos	139
Tabla G.14.1 – Tasa interna de retorno del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)	140

RESUMEN

DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO DE PRODUCCIÓN DE MADERA PLÁSTICA EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA

Autor: Ing. Marcell Cajiao

Tutor: Dr. Sourí Anderi

Fecha: Junio, 2011

El proyecto está dirigido a demostrar la factibilidad técnica y económica de producir madera plástica en Venezuela de forma industrial, a través del desarrollo de un proceso a escala piloto en la empresa metalmecánica Kruger Brent, en Valencia, utilizando elementos y materia prima nacional. La madera plástica es un material resistente y de bajo costo que se elabora a partir de la mezcla de un polímero termoplástico y madera proveniente del desecho de aserraderos. Las características físicas de la madera plástica permiten sustituir a la madera natural en algunas aplicaciones y aparte promueve el reciclaje de plásticos. La investigación es del tipo descriptiva, alcanzando el nivel de proyecto factible, con un enfoque gerencial, siguiendo la metodología científica, estructurada para cumplir con los objetivos en las seis fases siguientes: estudio del tipo de plástico, madera y aditivos requeridos; adaptación de la materia prima nacional; diseño de una extrusora capaz de producir madera plástica; producción de prototipos; comparación de los prototipos con muestras de madera plástica proveniente de la empresa Maderplast de Colombia, mediante resultados de ensayos físicos realizados en la Universidad de Carabobo y como última fase, la evaluación económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en Venezuela. Del proceso desarrollado a escala piloto en Kruger Brent, se obtuvieron tres perfiles básicos: redondo, cuadrado y rectangular; con una formulación de 71,4% de plástico y 28,6% de madera, con resultados satisfactorios que fueron comparados con los informes de pruebas realizadas a la madera plástica de Maderplast por universidades colombianas. Para garantizar de esta manera una calidad similar. Finalmente, con la información recopilada se determinaron indicadores de ingeniería económica como lo son el valor actual y la tasa interna de retorno. La determinación de la factibilidad económica arrojó resultados positivos para la escala piloto, así como para la escala industrial con un margen de utilidad por encima de 36 y 26 % respectivamente. La conclusión más importante es que el proyecto para producir madera plástica con materia prima nacional es rentable y técnicamente viable con la recomendación de continuar con la escala industrial.

Palabras clave: Madera plástica, factibilidad, extrusora, reciclaje de plásticos.

INTRODUCCIÓN

La investigación describe un material resistente y de bajo costo, producido a través de un proceso que estimula el reciclaje y es amigable con el medio ambiente. Estos compuestos llamados madera plástica se originan en la necesidad de la industria de la construcción en conseguir un material más económico que los frecuentemente utilizados, de donde surge la idea de mezclar aserrín con un polímero termoplástico.

Entre los diferentes procesos de manufactura se escogió la extrusión de la materia prima, por ser el más común y utilizado en la elaboración de plásticos; de esta misma manera se seleccionó el polietileno de alta y baja densidad como matriz polimérica, por ser el plástico más abundante y económico a nivel mundial.

La investigación es del tipo descriptiva con un nivel de proyecto factible enfocado a determinar mediante indicadores de modelos económicos el rendimiento global de crear una empresa a escala industrial dedicada a la producción de madera plástica dentro del estado Carabobo, región industrial por excelencia en Venezuela.

Para ejecutar la investigación fue necesario desarrollar un proceso a escala piloto en la empresa metalmecánica Kruger Brent, en Valencia, logrando producir prototipos a los cuales se les realizaron ensayos físicos en la Universidad de Carabobo. Los resultados de estas pruebas fueron comparados con los resultados de

ensayos efectuados a madera plástica producida y comercializada en el exterior, a fin de garantizar una calidad similar y con los datos generados en la investigación se calculó la tasa interna de retorno para la escala piloto y la escala industrial, como indicador financiero para demostrar la factibilidad económica del proyecto.

El proyecto está estructurado en cuatro capítulos presentados de la siguiente manera: El capítulo uno abarca el problema de investigación, donde se destaca el hecho de que en Venezuela actualmente no existe ninguna empresa que ofrezca madera plástica para el consumidor venezolano en general. El capítulo dos se refiere al marco teórico, resaltando los antecedentes de investigaciones similares en la región de América Latina. El capítulo tres está formado por el marco metodológico, siguiendo el procedimiento científico, diseñado para obtener resultados verificables con un enfoque gerencial. En el capítulo cuatro se presentan los resultados y su discusión de acuerdo con los objetivos trazados, comenzando por el estudio de la materia prima, su adaptación al proceso y el diseño de una extrusora capaz de producir madera plástica, continuando con la elaboración de prototipos, ensayos físicos y su comparación con madera plástica colombiana. Con la finalidad de reunir la información necesaria para la evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en Venezuela. Por último, se encuentran las conclusiones extraídas del compendio del desarrollo de la investigación así como también las recomendaciones más relevantes para la consecución del proyecto.

CAPÍTULO I

1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la búsqueda de proyectos de inversión se encontró a la madera plástica como un material interesante para su estudio y comercialización en Venezuela, por esta razón se desarrollo un proceso de producción de madera plástica en una escala piloto para determinar la factibilidad técnica y económica de instalar un empresa dedicada a la manufactura y mercadeo de este producto. En este capítulo se muestran los objetivos, las limitaciones y el alcance de la investigación.

1.1 Planteamiento del problema

La madera plástica es un producto de características físicas muy similares a la madera natural, así como resistente a la corrosión, agua, ácido, al ataque bioquímico y a la intemperie. Además es un material denominado “ecológico” ya que ayuda en el proceso de conservación de la naturaleza al sustituir en muchas aplicaciones a la madera, y por otra parte, es producida a partir de residuos plásticos, que de no ser utilizados, acabarían en un basurero o incinerados. De esta manera, se ahorra materia prima virgen, energía y se disminuye la contaminación.

Los compuestos de madera y plástico se vieron por primera vez en Estados Unidos durante los años 1960, principalmente en aplicaciones de marcos de ventanas y puertas. La industria de las ventanas y puertas, que tienen experiencia con materiales de madera, plástico y aluminio, buscó la forma de utilizar materiales más económicos, de allí que el aserrín parecía un material tanto ligero como barato. El país con mayor producción de este material es Estados Unidos de América, aunque en Europa su investigación y desarrollo ha aumentado en los últimos años, debido a que el uso de este tipo de materiales puede disminuir costos ya que se aprovecha todo el desperdicio de madera y madera reciclada (Wikipedia, 2011A).

La madera plástica se obtiene de un proceso limpio que no genera problemas medioambientales. A partir de la extrusión de un polímero termoplástico en forma de gránulos (pellets) con partículas de madera, como aserrín. Los cuales son introducidos a la extrusora de tornillo a través de una tolva, y son mezclados a lo largo del proceso. La presentación es en forma de perfiles plásticos de diferentes formas, tamaños y variados colores para diversas aplicaciones, como sustituto de la madera natural, principalmente para usos exteriores.

Delgado y Medina (2003) comentan que el mercado actual para estos compuestos solo en Norteamérica alcanzó ya 600.000 toneladas anuales. Actualmente, la fibra de madera es el material más utilizado como refuerzo. Se estima que la extrusión de

materiales plásticos con rellenos y refuerzos de fibras naturales registrará un crecimiento anual de más del 10% anual durante los próximos cinco años.

Para el año 2010 en Venezuela, no existe ninguna empresa que produzca la madera plástica, así como tampoco, ninguna otra que ofrezca la distribución de este material de importación, de acuerdo con los proveedores consultados. No por falta de materia prima, la cual cada día aumenta con el reciclado de plásticos, sino quizás por ser un material todavía desconocido por gran parte de la sociedad.

La intención fue desarrollar un proceso de producción de prototipos de madera plástica con la finalidad de demostrar la factibilidad de crear una empresa en Venezuela que sea capaz de satisfacer la demanda de los consumidores de este producto y así poder contar con un proveedor local de madera plástica y las ventajas que este material ofrece, haciendo uso de recursos nacionales. Es importante mencionar este punto, debido a las regulaciones vigentes de CADIVI (Comisión de Administración de Divisas) referente a la adquisición de divisas por parte de las empresas para la compra de maquinaria y productos importados, por esta razón, se hace aún más necesario este proyecto.

1.2 Formulación del problema

Debido a la carencia de proveedores de madera plástica en Venezuela, surge la oportunidad de estudiar la factibilidad técnica y económica de crear un proceso para la producción de este material y de esta manera demostrar la posibilidad de fabricar madera plástica a una escala mayor, capaz de satisfacer al mercado venezolano en las aplicaciones donde se pueda sustituir a la madera natural.

Por lo tanto, estudiando un producto el cual está en crecimiento de sus ventas en otras partes del mundo, surge la siguiente interrogante: ¿Es posible producir un prototipo de madera plástica con materia prima nacional capaz de cumplir con los requerimientos de calidad y operatividad de los consumidores venezolanos?. Además de que sea un proceso con máquinas - herramientas de fácil procura.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar un proceso piloto de producción de madera plástica con materia prima nacional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar el tipo de plástico, madera y aditivos que se requieren en la mezcla para producir madera plástica.
- Adaptar la materia prima nacional para obtener madera plástica.
- Diseñar un dispositivo capaz de producir madera plástica con elementos de procura nacional.
- Producir un prototipo de madera plástica a través del proceso diseñado con las materias primas previamente seleccionadas.
- Comparar el prototipo de madera plástica obtenido con producto importado mediante ensayos físicos.
- Evaluar la factibilidad económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en Venezuela.

1.4 Justificación

Partiendo del desconocimiento de la gran mayoría de la sociedad de la existencia de este material, mediante la elaboración de este proyecto, se podrá contar con el conocimiento necesario para la obtención de madera plástica, y de los elementos que se requieren para desarrollar una línea de producción.

Entre las ventajas que ofrece la madera plástica se menciona: En primer lugar su baja densidad, la cual permite diseñar componentes livianos y rígidos. Segundo, abundancia y bajo costo de la materia prima, que promueven el reciclaje y permite el aprovechamiento de los desechos agroindustriales.

La principal motivación para el desarrollo de este tipo de materiales ha sido la legislación de los países desarrollados, que promueven el uso y reciclaje de los materiales de desecho; y que al mismo tiempo ha restringido el uso del principal agente químico utilizado en el tratamiento e inmunización de la madera, el arsenato de cobre cromado (CCA Chromated Copper Arsenate). De esta forma, los plásticos reforzados con madera se han convertido en una alternativa para reciclar el plástico ya usado y aprovechar el aserrín que queda como desecho del proceso de corte de las maderas. Se han reportado en el mercado materiales de este tipo con un contenido de madera que varía desde el 10% hasta el 80% en los casos más extremos. Por otro lado, con la prohibición de uso del CCA (el agente químico que protege a las maderas contra roedores, insectos y hongo, entre otros), los plásticos reforzados con madera han reemplazado la madera en aplicaciones no estructurales donde este tipo de protección es indispensable, como por ejemplo en aplicaciones exteriores (Jiménez, 2005).

Finalmente, la dificultad de la adquisición de maquinarias, equipos y productos provenientes del exterior debido al control cambiario existente (Decreto 2302,

Creación de CADIVI 05/02/2003), impuesto por el Ejecutivo Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, lo cual estimula a la creación de proyectos de producción nacional para satisfacer la necesidad de los consumidores y constructores del país.

1.5 Limitaciones

Por el estricto control cambiario existente en el país, se desarrolló el proyecto utilizando solo materias primas nacionales, así como, de los elementos necesarios para el diseño y fabricación del dispositivo para producir madera plástica. Haciendo únicamente referencias a los equipos, herramientas y productos que están disponibles en el exterior.

Las pruebas comparativas entre los prototipos de madera plástica y las muestras importadas de este producto a las que se tuvo acceso, se hicieron de las características físicas que fueron posibles analizar en los laboratorios existentes en la Universidad de Carabobo.

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en el estado Carabobo, Venezuela, se utilizó la escasa información de carácter público disponible de temas relacionados disponibles en el entorno venezolano.

1.6 Alcance

Con este proyecto se persigue demostrar que tan factible resultaría crear un proceso para producir madera plástica con materias primas nacionales, con una capacidad productiva cercana a satisfacer la demanda del creciente mercado venezolano para este tipo de material. A través de la elaboración de un proceso piloto, del cual se obtuvieron prototipos, cuyas características fueron analizadas en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de Carabobo y comparadas con los resultados de muestras de madera plástica producida en el exterior.

Finalmente, mediante un sencillo análisis técnico y económico, concluir cual es la mejor manera para que los constructores y consumidores nacionales puedan tener acceso a la madera plástica, para sus proyectos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En la actualidad los compuestos de madera plástica se usan para la fabricación de perfiles de puertas y ventanas, láminas, construcción de paneles interiores de carros y todo tipo de aplicaciones de cubiertas y barandas a la intemperie. Las formas de procesamiento también son variadas, siendo la más común la extrusión. Sin embargo, otros procesos como el termo-formado, moldeo por compresión y por inyección también han sido usados para obtener piezas elaboradas con plásticos reforzados con madera.

2.1 Antecedentes

Madrid (2009), realizó una tesis de maestría en la Universidad de Carabobo titulada “Evaluación económico-ambiental de un sistema de osmosis inversa para la fuente de vapor en la fabricación de aceites comestibles”, del tipo proyecto factible alcanzando un nivel descriptivo, donde el objetivo general era evaluar económica y ambientalmente el sistema mencionado en el título. Efectuando un diagnóstico de la tecnología actual, determinó la factibilidad económica utilizando el programa Argo Analyzer, concluyendo que es técnicamente factible el uso de la tecnología debido a la calidad del agua que se puede alcanzar en función del agua disponible. Además el

costo del equipo es el 28% de los costos operativos, recuperando la inversión en un año, reduciendo los costos operativos en 37%. Justificando la inversión a nivel económico y ambiental.

Al igual que el desarrollo de un proceso de madera plástica en el estado Carabobo, en Venezuela, se justifica a nivel económico y ambiental. Ambos proyectos son del tipo factible, buscando evaluar su factibilidad técnica y económica, con la diferencia que Madrid utilizó un programa especialmente diseñado por General Electric para el cálculo de costos de este tipo de sistemas, mientras que en este proyecto se determinó calculando la tasa mínima de retorno y el valor actual.

Ceballos (2004), en una tesis de maestría en la Universidad de Carabobo realizó un trabajo titulado “Desarrollo de un módulo de cálculo compatible con un simulador para la evaluación económica de un proceso” en el cual evaluó el programa de simulación SIMESTUC, construyó una base de datos y validó el módulo desarrollado. Con el objetivo de evaluar los costos por equipo de un proceso global a simular. La investigación es del tipo evaluativa, alcanzando el nivel experimental. Para validar su módulo de cálculo lo comparó con una publicación de estimación de costos, concluyendo que las desviaciones obtenidas (por debajo del 5%) muestran que el programa desarrollado es bastante confiable.

La ventaja que Ceballos menciona es, que se pueden estudiar procesos de forma más rápida sin utilizar una planta real. Mientras que la base de datos incluye 89 equipos, en la que utiliza correlaciones para determinar sus costos, desafortunadamente no se incluyen los equipos que se requieren para una línea de producción de madera plástica como los son la extrusora, mezcladora, entre otros. De cualquier forma mediante este módulo solo se podría obtener un estimado de costos para conocer el orden de magnitud, sin alcanzar un nivel de precisión definitivo. Además sin desarrollar la escala piloto no se puede determinar la factibilidad técnica.

Delgado y Medina (2003), publicaron en la “Revista de Ingeniería” de la Universidad de los Andes, en Bogotá, Colombia un trabajo titulado “Extrusión de perfiles espumados de madera plástica” basando su investigación en la producción continua de perfiles espumados de madera plástica en extrusión mediante el uso de agentes espumantes químicos, basados en materiales de fácil adquisición y disponibilidad en el entorno colombiano. Seleccionando el polietileno de alta densidad (PEAD) grado soplado como matriz polimérica, así como también seleccionaron el cisco o cascarilla de café como materia prima para servir de refuerzo en el material compuesto. Esta investigación la llevaron a cabo en el Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros de la Universidad de los Andes (CIPP), utilizando como agente espumante Hydrocerol. Luego de obtenidas las muestras, se realizaron pruebas de densidad, microscopia y compresión para evaluar las propiedades. Concluyendo que no es necesaria la presencia de gran cantidad de

agente para obtener buenas razones de expansión. De hecho se lograron mayores razones de expansión con menores concentraciones de agente espumante. Además comentan que obtuvieron un producto barato, liviano, con la apariencia de la madera, insensible a la humedad y a los insectos y con la resistencia suficiente para ser utilizado en aplicaciones semiestructurales, decorativas o como relleno espumado en aplicaciones de coextrusión.

El proyecto de Delgado y Medina, implementó un proceso a escala de laboratorio para generar perfiles espumados de compuestos de madera plástica, mientras que este proyecto va a la escala piloto dentro de una empresa, utilizando polietileno de alta y baja densidad, aserrín sin aditivos espumantes para obtener un producto económico, sin embargo en la Universidad de los Andes van más allá, incluyendo material de refuerzo como lo es la cascarilla de café, ya que puede representar una solución al problema ambiental que genera actualmente dichos desperdicios, representando además, una fuente potencial de ingreso adicional para los caficultores colombianos, y con la utilización de un agente espumante están obteniendo un producto más liviano, de menor densidad, lo que se traduce en un compuesto de madera plástica menos costoso.

Jiménez (2005) escribió en el sitio de internet Plástico.com y en la revista “Tecnología del Plástico” las cuales son publicaciones dirigidas a los transformadores de resinas plásticas de América Latina, un artículo titulado “La fuerza de la madera

en los plásticos, una combinación ganadora” donde menciona que: actualmente, varias investigaciones encaminadas a desarrollar materiales compuestos de plástico y madera se están llevando a cabo en la región, algunas tan sólo a nivel experimental y otras ya a punto de concretarse de manera exitosa. Citando los siguientes ejemplos:

La empresa colombiana Trimco, que produce piezas para el sector automotor, desde hace más de 25 años produce entre otros, paneles para puertas y bandejas portapaquetes. Estos componentes se obtienen a partir de un proceso de termocompresión de Wood Stock, un material especial compuesto de madera y resinas termoplásticas, cuya presentación de origen viene en gránulos.

La empresa brasileña Industria Madeireira Uliana Ltda., dedicada al procesamiento de madera, en un esfuerzo por darle valor agregado a sus desechos (60 ton/día de polvo de madera seco), desde hace dos años, comenzó a trabajar en un proyecto para la fabricación de este tipo de materiales. La iniciativa, fomentada por el gobierno brasileño a través del IBAMA (Instituto Brasileño de Ambiente y Recursos Naturales Renovables), está a punto de dar frutos. En este momento, Uliana, junto con otras tres compañías, Indusparquet Ltda., empresa maderera, y PoliBrasil S.A. e Interject Ind., empresas que trabajan con resinas termoplásticas, planean crear una nueva compañía para fabricar probablemente perfiles extruidos e ingresar al mercado norteamericano y europeo.

Un proyecto de gran magnitud se adelanta en Chile, donde se están realizando las negociaciones para la posible construcción de una planta de gránulos de material compuesto de madera y plástico con una capacidad de 800 kg/h. El desarrollo de la tecnología fue realizado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, como afirma Alex Berg, director ejecutivo de esta Unidad.

En Argentina, la unidad de madera del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, también ha trabajado en este tema, por iniciativa de un empresario argentino. Desde 1997, ambas partes trabajaron hasta alcanzar un nivel de planta piloto en la fabricación de placas que después se conformaban por presión y calor para obtener productos finales con una forma determinada. De acuerdo con el Doctor Ricardo Podgaiz, del Instituto.

En América Latina el panorama es diferente, con respecto al mercado estadounidense, que en 2004 excedió los mil millones de dólares. Donde el recubrimiento de superficies a la intemperie es la principal aplicación en Estados Unidos, la cual no es el principal interés en la región, y solamente ha sido implementada de manera significativa en algunas islas del caribe en la construcción de hoteles, de acuerdo a Jim Morton, socio más antiguo de la compañía consultora Principia, para el artículo.

En la publicación se mencionan los principales avances en este campo de estudio. Para el caso de la empresa Trimco, utilizan el proceso de termocompresión para producir sus piezas, mientras que este proyecto describe la elaboración de madera plástica mediante el proceso de extrusión. En el caso de Brasil se señaló que la iniciativa proviene del gobierno, y este proyecto está enfocado mayormente a una inversión privada, sin embargo con el respaldo de un ente gubernamental se podría llevar el proceso productivo de estos compuestos a una escala mucho mayor, a nivel nacional. Para el caso de Chile indican una capacidad de 800 kg/h para la planta industrial y este proyecto tiene una escala de planta piloto, al igual que el caso del INTI de Argentina.

Pequiven (2007) en una de sus comunicaciones anunciaron el inicio de la construcción de Petrocasa II, empresa mixta socialista de Pequiven que implementa el revolucionario sistema de fabricación de paneles de Policloruro de Vinilo (PVC) para la construcción de viviendas. Esta planta ubicada en el municipio de San Fernando de Apure, levantará adyacentemente en una superficie de casi 38 mil metros cuadrados, la fábrica de madera sintética, también empresa mixta de Pequiven que producirá madera y machihembrado para techos, favoreciendo el desarrollo petroquímico aguas abajo con la red de carpinteros bolivarianos.

El Ministerio del Poder Popular para la Comunicación y la Información (MINCI) en abril de 2009 publicó una noticia titulada “Maderas sintéticas para satisfacer las

necesidades del colectivo” en el cual indican que con una inversión de 56 millones de dólares crearon una empresa de propiedad social a través de Pequiven, para producir 50 mil toneladas métricas anuales de piezas de termoformado, empleando equipos y maquinaria de tecnología alemana, austriaca e italiana. Ubicada en Guacara, estado Carabobo. Esta planta permite la ocupación de 360 personas. Señalando: “es un producto social que no va al mercado capitalista, esto va a ser transferido en forma de producto a las fábricas de Petrocasas”.

Tal como lo indican ambas noticias, el gobierno venezolano realizó inversiones en materia de producción de madera sintética, sin embargo se ratifica que el producto está destinado exclusivamente para la empresa Petrocasa. De esta manera el consumidor ordinario no tiene acceso al producto para construir lo que desee.

2.2 Bases teóricas

Los plásticos son materiales ampliamente utilizados en muchas aplicaciones, por sus excelentes propiedades, versatilidad, ligereza, facilidad de procesamiento y muchas otras características. Para modificar y/o mejorar sus propiedades, en algunas ocasiones se ha recurrido al uso de refuerzos, como por ejemplo la fibra de vidrio o carbonato de calcio, con el fin de expandir su uso a otros campos.

Wikipedia (2011E) señala que el plástico como invento se le atribuye a Leo Hendrik Baekeland que vendió el primero llamado baquelita en 1909. En la actualidad, el plástico se ha fabricado con la finalidad de satisfacer las necesidades del hombre en la vida cotidiana que en siglos anteriores no se podía realizar. La palabra plástico se usó originalmente como adjetivo para denotar un cierto grado de movilidad y facilidad para adquirir cierta forma.

Los plásticos son sustancias que contienen como ingrediente esencial una macromolécula orgánica llamada polímero. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. El plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí; los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen hoy en día. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

Es fácil percibir cómo los desechos plásticos, por ejemplo de envases de líquidos, no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza, porque su material tarda aproximadamente unos 500 años en degradarse.

Ante esta realidad, se ha establecido el reciclaje de tales productos de plástico, que ha consistido básicamente en recolectarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlos como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos.

La elaboración de compuestos de madera plástica involucra dos tipos de materiales diferentes: uno higroscópico (biomasa) y uno hidrofóbico (plástico), donde existe un problema de separación de fases y compatibilidad. Esta tecnología también involucra a dos sectores muy diferentes, el de la madera y/o agroindustrial y la industria del plástico. El procesamiento de estas dos fases presenta problemas centrados en maximizar el mezclado mientras se reduce al mínimo los daños al suministrar la biomasa. El índice de fluidez, las temperaturas del proceso, la electricidad estática y la densidad también son problemas para la industria del plástico en la cual la alta fluidez y alta temperatura son condiciones del proceso

necesarias cuando se realiza extrusión de plástico limpia o con el uso de rellenos inorgánicos tales como vidrio, carbonato de calcio o talco. Mientras que la biomasa en el compuesto se expande y se contrae debido a la humedad, y la fase plástica se dilata y se contrae debido a la temperatura. Congelación y descongelación también causan problemas, así como los efectos del ataque de microorganismos y la radiación ultravioleta. Tintura, acabado, estabilidad del color y elementos de fijación también son preocupaciones. La extrusión de sólidos, la extrusión de perfiles, co-extrusión, moldeo por inyección y moldeo térmico están siendo utilizados para hacer diferentes productos de compuestos de madera plástica en diferentes partes del mundo (Rowell, 2006).

La madera plástica es un producto de características físicas muy similares a la madera natural, pero además resistente a la corrosión, agua, ácido, al ataque bioquímico y a la intemperie. Se trabaja como la madera, puede cortarse con serrucho y segueta. Puede ser torneada, cepillada, canteada, perforada y atornillada. El color viene de su fabricación y no requiere de ningún tipo de mantenimiento (Rexco, 2006).

La Figura 2.1 muestra un perfil de madera plástica elaborado con un agente espumante llamado Foamazol, producido por la empresa Bergen International, compatible con una amplia variedad de polímeros y prácticamente todos los procesos.

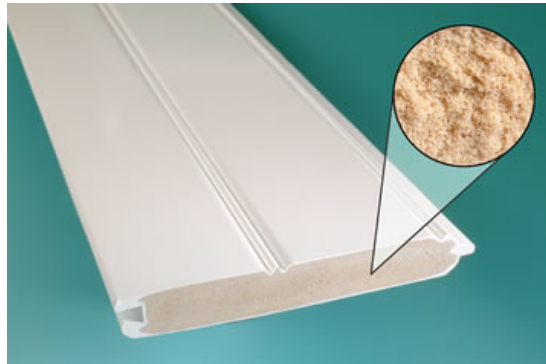


Figura 2.1 – Perfil de compuesto de madera plástica.
Fuente: Bergen International, 2008

A continuación se detallan los materiales y los procesos que se requieren para elaborar compuestos de madera plástica:

2.2.1 Madera

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los troncos están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina, la madera es un material muy resistente y gracias a su abundancia natural es utilizada ampliamente por los humanos desde tiempos remotos. La composición media de la madera es de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el restante 2% de nitrógeno (N) y otros elementos. El deterioro de la madera es un proceso que altera sus características, debido a dos causas primarias, agentes bióticos y agentes físicos. La madera es notablemente resistente al daño biológico, pero existen organismos que atacan la madera como: bacterias, hongos, insectos tales como termitas, escarabajos, abejas, avispas y hormigas, además de

perforadores marinos. Entre los agentes físicos que deterioran la madera se incluyen abrasión mecánica o impacto, luz ultravioleta, subproductos de corrosión del metal, ácidos o bases fuertes (Wikipedia, 2011D).

Según el Aserradero Sur de Chaguaramas (2008), en Venezuela se cultiva el pino Caribe, en el estado Monagas, el único pino que crece de manera natural en bajas elevaciones y produce una madera resinosa útil de fibras largas. Las especies de maderas de estos árboles se clasifican en maderas duras como: algarrobo, puy, zapatero, congrio, purguo y divi-divi, maderas semi-duras como: capure, mora y pilón, maderas blandas como: el pino, capure, carapa, palo blanco, primavera y mureillo. Los usos más comunes de la madera de pino aserrada son: tablas y listones para carpintería y construcción, paletas para montacargas, tablas para embalaje, para machihembrado y listones para cercas. Las maderas duras o frondosas son las que provienen de árboles de crecimiento lento, son más resistentes y por lo general más costosas, como el roble, haya, nogal, olmo, caoba y cerezo, ideales para muebles de gran calidad y excelentes acabados.

La densidad normal o densidad al 12% de humedad de la madera de pino silvestre (Nombre científico: *Pinus sylvestris*) es de: 0,55 g/cm³ (Rodríguez, Broto y Lizarralde, 2006).

La madera utilizada para el proceso piloto de producción de madera plástica proviene de sobrantes de aserraderos. La presentación de madera más utilizada es el aserrín y puede ser obtenida con gran facilidad y de forma abundante.

2.2.2 Plástico

La principal materia prima para la mezcla es el plástico. Dentro de los polímeros se encuentran:

a) Polietileno de baja densidad o LDPE (por sus siglas en inglés, Low Density Polyethylene) o PEBD, es un polímero termoplástico conformado por unidades repetidas de etileno, con una estructura de cadenas muy ramificada, esto hace que tenga una densidad más baja que la del PEAD. Se obtiene mediante la polimerización del etileno a altas presiones. Se caracteriza por ser más flexible que el polietileno de alta densidad, posee una buena resistencia térmica y química, buena resistencia al impacto, es translúcido y tiene muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar mediante inyección y extrusión. Es reciclable como el resto de los termoplásticos. Entre las aplicaciones se encuentra en bolsas plásticas, películas para envasado, contenedores herméticos, tubos y juguetes (Wikipedia, 2011L).

b) Polietileno de alta densidad o HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) o PEAD, es un polímero olefinico termoplástico conformado por

unidades repetitivas de etileno, de estructura lineal, sin ramificaciones, es más rígido que el polietileno de baja densidad, se sintetiza mediante un procedimiento de polimerización a bajas presiones empleando catalizadores Ziegler-Natta, con radicales libres. Se caracteriza por poseer una excelente resistencia térmica y química, buenas resistencia al impacto, es sólido, incoloro, translúcido, casi opaco y se puede procesar por los métodos de conformado para los termoplásticos como inyección y extrusión. Es reciclable y se puede copolimerizar con propileno. Entre las aplicaciones se encuentra en bolsas plásticas, envases para alimentos, detergentes y aceites, juguetes, cascos protectores, tambores y tuberías (Wikipedia, 2011K).

El polietileno, es químicamente el polímero más simple, se representa por su unidad repetitiva $-(\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-})_n$. Por su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas son producidas anualmente en 2005 alrededor del mundo), es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes, es químicamente inerte y se obtiene de la polimerización del etileno (Wikipedia, 2011J).

c) Tereftalato de polietileno, más conocido por sus siglas en inglés PET (Polyethylene Terephthalate), es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad, que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Puede ser procesado mediante extrusión, inyección, soplado y termoconformado. Este material debe ser rápidamente enfriado para lograr una

mayor transparencia, evitando el crecimiento excesivo de cristales. Se caracteriza por poseer una alta resistencia al desgaste, corrosión y transparencia, aunque admite cargas de colorantes. Buena resistencia química y térmica, es reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica. Aprobado para el contacto con alimentos, por esta razón este material ha alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y gran variedad de envases y botellas (Wikipedia, 2011N).

d) Polipropileno o PP, es un polímero termoplástico parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno, pertenece al grupo de las poliolefinas. Se compone de una cadena principal de átomos de carbono enlazados entre sí, de la cual cuelgan grupos de metilo (CH_3 -) a uno u otro lado de la cadena. Las propiedades del PP dependen enormemente del tipo de tacticidad que presenten sus moléculas:

Polipropileno isotáctico: Cuando todos los grupos de metilo están del mismo lado.

Polipropileno sindiotáctico: Cuando están alternados a uno u otro lado.

Polipropileno atáctico: Cuando no tienen un orden aparente.

Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro, el PP isotáctico es el tipo más utilizado ya que la distribución regular de los grupos metilo le otorga una alta cristalinidad.

El PP copolímero se obtiene al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización, resultando un material con mayor resistencia al impacto. Es muy utilizado para producir vasos desechables, empaques, equipo de laboratorio, tejidos y componentes automotrices (Wikipedia, 2011M).

e) Policloruro de Vinilo o PVC, es un polímero termoplástico que resulta de la polimerización del cloruro vinilo o cloroetano. En su estructura amorfa, los átomos de cloro enlazados a cada átomo de carbono le impiden su recristalización y alta cohesión entre moléculas. Esta dificultad en la conformación estructural hace necesario en la mayoría de las aplicaciones la incorporación de aditivos para obtener el producto final deseado. Se caracteriza por un alto contenido de halógenos, es dúctil, tenaz y reciclable. En la industria existen dos tipos, PVC rígido, para envases, ventanas, tuberías y PVC flexible, para cables, juguetes, calzado y recubrimientos (Wikipedia, 2011H).

f) Poliestireno o PS, es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno (el estireno es un producto manufacturado, líquido incoloro de aroma dulce que se evapora fácilmente). Existen cuatro tipos principales: el poliestireno cristal GPPS, que es transparente, el poliestireno de alto impacto HIPS, resistente y opaco, el poliestireno expandido EPS, muy ligero, y el poliestireno extruido XPS, similar al expandido pero más denso e impermeable. Entra las aplicaciones principales se encuentran: el PS choque y el PS cristal en la fabricación

de envases mediante extrusión – termoformado y moldeo por inyección, como cajas para discos compactos y afeitadoras. El PS expandido para formas de anime y el PS extruido se emplea principalmente para aislantes térmicos en la construcción. Es el cuarto plástico mas consumido en el mundo detrás del polietileno, el polipropileno y el PVC (Wikipedia, 2011I).

g) Policarbonato es un polímero que presenta grupos funcionales unidos por grupos de carbonato en una larga cadena molecular, es un termoplástico fácil de trabajar, moldear y termoformar, y es utilizado en la manufactura moderna. Se caracteriza por una gran resistencia a los impactos y a la temperatura, así como sus propiedades ópticas. Entre sus aplicaciones se encuentra en lentes ópticos, materia prima para discos compactos, componentes de computadores, cristales anti-balas y en diseño y arquitectura, para cubrimiento de espacios (Wikipedia, 2011G).

Todos estos materiales plásticos se utilizan para la elaboración de compuestos de madera plástica, sin embargo los más usados son: polietileno tereftalato PET; polietileno de alta densidad PEAD; polietileno de baja densidad PEBD y el polipropileno PP. Estos materiales pueden ser ingresados al proceso de mezclado como material virgen o reciclado. Para efectos de costos se puede suministrar al proceso un porcentaje de plástico virgen mezclado con plástico reciclado. Igualmente se puede usar en su totalidad plástico reciclado.

A continuación se muestra la Tabla 2.1 con la densidad de los polímeros estudiados:

Tabla 2.1
Densidad de los polímeros estudiados

Tipo de plástico	Densidad (g/cm³)
Poliestireno (PS)	0,60
Tereftalato de polietileno (PET)	0,85
Polipropileno (PP)	0,90 - 0,91
Polietileno de baja densidad (PEBD)	0,92 - 0,94
Polietileno de alta densidad (PEAD)	0,95
Policarbonato	1,20
Policloruro de Vinilo (PVC)	1,40

Nota. Tabla elaborada con datos tomados de Wikipedia, 2011G/H/I/K/L/M/N.

El polímero a utilizar como matriz depende exclusivamente de las propiedades del mismo y del factor económico. En Estados Unidos, el polímero más utilizado es el polietileno, especialmente el de alta densidad, seguido por el polipropileno y el PVC. Otros polímeros como el ABS también han sido utilizados (Jiménez, 2005).

2.2.3 Refuerzos

Para la elaboración de los compuestos de madera plástica, se utilizan como elemento de refuerzo fibras naturales como: cascarilla de café, cascarilla de arroz, fibra de piña, palo de rosa y palma. También rellenos inorgánicos como aluminio, fibra de vidrio, carbonato de calcio o talco.

El CIPP, Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros de la Universidad de los Andes, en Bogotá, Colombia; adelanta desde hace varios años investigaciones en compatibilización y tratamiento superficial de diferentes compuestos de fibras naturales con resinas termoplásticas, siendo los compuestos de PVC y cisco de café los que han alcanzado hasta ahora el mejor desarrollo (Flórez, 2007).

Las fibras naturales poseen la ventaja de ser menos abrasivas que otros tipos de refuerzo basados en componentes minerales, promoviendo mayor duración de los equipos (Delgado y Medina, 2003).

2.2.4 Aditivos de procesamiento

Los aditivos son sustancias empleadas en los plásticos reforzados con fibras en menor cantidad que las cargas con el objeto de incrementar las propiedades del material. Cada tipo de aditivo tiene generalmente la capacidad de intervenir en una sola característica específica, por lo que es común emplear más de un aditivo, siempre que sean compatibles.

Jiménez (2005) en su artículo menciona que dentro de los aditivos, los más importantes son los agentes de acople, los lubricantes y los agentes espumantes químicos, junto a los colorantes y los biocidas, descritos continuación:

a) Agentes de acople son esenciales para lograr una buena compenetración entre la madera y el plástico y hacer que el material tenga las propiedades finales que se desean; así mismo, reducen la absorción de humedad. Crompton ofrece en este campo su Polybond 3029MP, un agente basado en polietileno de alta densidad, que gracias a su pequeño tamaño de partícula puede duplicar las propiedades de resistencia a la tensión y a la flexión de compuestos de madera y PEAD. Eastman Chemical ha desarrollado los agentes Epolene para PE (G-2608) y para PP (grados E-43, G-3003 y G3015); de acuerdo con la empresa, las propiedades mecánicas se mejoran en un 70% y la resistencia a la humedad aumenta ostensiblemente. La serie Integrate de Equistar Chemicals tiene agentes de acople para resinas basadas en PE y en PP. DuPont ofrece las series Fusabond con ramificaciones de anhídrido maléico para compuestos de PE y PP; la química de acople desarrollada por la empresa ha llegado a mejorar entre 200% y 300% la resistencia a la tensión en compuestos de madera y PEAD. Clariant Additive Masterbatches ofrece dos concentrados compatibilizantes a través de su serie Cesa-mix, basada en copolímero funcionalizado que se usa en compuestos de madera con PE y PP.

b) Agentes lubricantes permiten agilizar el proceso y tener mejores tiempos de producción con menos desgaste. Los compuestos de plástico y madera usan casi dos veces más agente lubricante que los plásticos estándar; en compuestos de PEAD con contenidos de madera, el porcentaje de lubricante requerido puede rondar el 5%, mientras que en compuestos de PP y madera se requieren valores entre 1 y 2%. El

porcentaje requerido con compuestos de PVC es mucho menor. En la oferta disponible se destaca Struktol, con sus nuevos agentes lubricantes TPW 104 para compuestos de poliolefina y madera, basados en estearato de zinc. El TPW 113 es un lubricante no metálico, también para poliolefinas, y el TPW-012 y TR-251 están diseñados para compuestos madera-PVC. Clariant Additive Masterbatches ofrece un fluoroelastómero, el Cesa-Process 9102, para extrusión de compuestos de poliolefina-madera; las series Cesa-process 8593 y 8633 tienen un sistema de lubricación desarrollado por la empresa para aplicaciones de extrusión, y el Cesa-process 8477 está diseñado para inyección. Ferro ofrece la serie SXT 2000 de estearatos metálicos mezclados con lubricantes no metálicos para compuestos de madera y poliolefinas, y la serie SXT 3000, libre de estearatos metálicos. Estos productos pueden mejorar hasta en un 50% las tasas de producción, de acuerdo con su fabricante.

c) Agentes químicos espumantes pueden ser de tipo exotérmico y endotérmico, son usados para crear perfiles sólidos en el exterior con un núcleo espumado. Están diseñados para reducir el peso y el costo de material en el compuesto de madera, y pueden mejorar la apariencia superficial e incrementar la velocidad de procesamiento. También hacen que la pieza final sea más fácil de pintar. Bergen Internacional ofrece los agentes Foamazol para uso en compuestos de madera con Poliolefinas, PVC y PS. Este tipo de compuestos puede reducir el peso del producto final entre un 5 y un 10%, y está diseñado para aplicaciones de moldeo decorativas.

Reedy International también provee agentes espumantes a través de su línea de productos Safoam, donde los compuestos de madera han alcanzado reducciones de densidad de 30 a 35%. Clariant Additives Masterbatches ofrece la serie Hydrocerol PLC para mezclas con poliolefinas, PVC y PS, donde el contenido de madera no supera el 50%. Crompton ha desarrollado la serie Celogen, para compuestos con poliolefinas y PVC. Las micro-esferas de Expancel son una interesante opción como agente espumante; en concentraciones cercanas al 3%, pueden actuar reduciendo hasta en un 38% el peso de una pieza moldeada con un contenido de madera entre 20 y 30%.

d) Otros agentes aditivos:

- Pigmentos: preparados a partir de productos insolubles, en forma sólida, de origen mineral u orgánico.
- Colorantes: compuestos solubles en agua o disolvente orgánico que se utilizan poco debido a su mala resistencia química.
- Pastas colorantes: son dispersiones de pigmentos en un soporte pastoso, de fácil incorporación y dispersión en la resina.
- Biocidas o conservantes: impiden que el material sea atacado por microorganismos, insectos o roedores, pueden ser sustancias químicas sintéticas o de origen natural.
- Agentes retardantes de la llama e ignífugos.
- Agentes antioxidantes: garantizan unas propiedades prolongadas del material frente a la acción de los rayos UV y del ozono. Tomado de Wikipedia (2011F).

2.2.5 Mezclado

El relleno de madera generalmente se mezcla con la matriz polimérica en extrusores de tornillos gemelos, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de la resina a bajo costo. Esto se logra aplicando mezclados distributivos y dispersivos a los componentes de las mezclas. Sin embargo, dado que los rellenos de madera son sensibles al calor y a los esfuerzos cortantes generados por la rotación del tornillo, es necesario escoger estrategias de extrusión que desarrollen un mezclado suficiente pero que a la vez minimicen la degradación de las fibras y la resina en la máquina (Serrano, 2004).

2.2.6 Extrusión

La extrusión de estos compuestos es la técnica más utilizada para fabricar perfiles de este material, pero también es utilizada para realizar el compuesto, esto sucede por medio de una mezcla física, que en combinación con agentes de acoplamiento puede formar algunos enlaces químicos o formar emulsiones de forma que el material sea estable y posteriormente pueda ser inyectado o moldeado por compresión (Wikipedia, 2011A).

Los desarrollos en equipo para incorporar fibras de madera en matrices plásticas hacen que cada vez se requieran menos etapas de secado y acondicionamiento de la

materia prima, según Serrano (2004), además en su artículo para la revista “Plástico” menciona los extrusores diseñados especialmente para este proceso:

Recientemente, Krauss-Maffei lanzó un nuevo extrusor de tornillos gemelos de dos etapas en tandem, modelo KMD 133-36 WPC, que combina madera sin secar con resinas de PVC, PE o PP en polvo o en forma granulada en la misma garganta de alimentación del equipo. La primera etapa consiste de un sistema corrotacional cuya función es la de efectuar un secado de la mezcla en una distancia de L/D 9:1, con un diámetro de 177 mm. La garganta de alimentación es enfriada permanentemente y un sistema de aceite, calienta o enfría los tornillos. Debido a que esta sección no tiene un punto de venteo, la humedad es retirada cuando la mezcla pasa a la segunda sección del extrusor de tornillos gemelos. La segunda sección está constituida por un sistema de tornillos contrarrotacionales de 133 mm de diámetro y con una longitud L/D de 36:1. En la segunda sección se cuenta con dos puntos de venteo, la primera opera a la presión atmosférica y en la segunda se aplica alto vacío (de hasta 28 pulgadas de agua). El constructor afirma que la productividad de la máquina es de 2.000 lb/h cuando la mezcla se compone de un 60% de fibra de madera con PVC, 1.800 lb/h cuando la resina es HDPE, y 1.600 lb/h cuando la resina es PP.

El uso de los extrusores de tornillos gemelos corrotacionales para el procesamiento de polímeros rellenos con fibra de madera es una tendencia que ha marcado el trabajo de la compañía Sino-Alloy Machinery. Su modelo PSM 72 de

tornillos gemelos de 72 mm de diámetro y L/D 44:1, puede fabricar concentrado con un contenido de hasta 60% de madera. En esta máquina, la harina de madera se alimenta inicialmente sola con el objeto de calentarla y remover la humedad. Luego, la resina se alimenta aguas abajo en el extrusor para efectuar la mezcla con el relleno. De acuerdo con este fabricante, sus extrusores se caracterizan por contar con una caja reductora de alto torque, que permite una mayor productividad ($T = 9.550 P/2n$; donde T es el torque en N-m; P la potencia del motor en kW; y n la máxima velocidad del tornillo en rpm). La compañía afirma ofrecer máquinas con velocidades de 600 rpm y para el futuro piensan que la velocidad preferida por mercado será de 1.200 rpm. La máquina PSM tiene tornillos con hélices intercaladas con intersticios uniformes y que ofrecen un tiempo de residencia reducido a la resina, a la vez que evitan la generación de puntos calientes. Esta serie de extrusores también se distingue porque la profundidad de los filetes es alta: D_a/D_i de 1,55 (D_a es diámetro externo y D_i el diámetro interno del filete). Entre más profundo es el canal, mayor es la productividad.

Draiswerke, la compañía que diseñó el mezclador de alta velocidad Gelimat, ha incursionado con este equipo en el campo de la preparación de compuestos de plásticos y fibras de madera. La energía mecánica proporcionada por el mezclador funde la resina y proporciona suficiente calor para secar las fibras de madera. La compañía afirma que este equipo puede preparar concentrados hasta con un 80% de contenido de relleno. Para Draiswerke, el mezclador Gelimat cuenta con muchas

aplicaciones en el sector del reciclaje de materiales plásticos. La preparación de las mezclas con madera, afirma, se puede efectuar a un costo muy bajo y con resultados excelentes de calidad para aplicaciones en la industria de la construcción. Gelimat opera con un principio termo-cinético que permite preparar mezclas en pocos segundos y en este sentido se compara ventajosamente con los sistemas tradicionales de extrusión. Esto sin necesidad de emplear sistemas de secado especiales, como sí ocurre en la extrusión tradicional. Por lo tanto, Gelimat reemplaza a los extrusores de tornillos gemelos excepto en la función de dar forma al material fundido. Para ello, es suficiente adicionar un granulador o un extrusor de barril corto que incremente la presión del material y lo dosifique en un dado de formación. El equipo está disponible en tamaños desde un litro hasta 250 litros. El tiempo de procesamiento es corto, los requerimientos de mantenimiento bajos, igualmente lo es la inversión de capital y como beneficios, de acuerdo con esta compañía, el usuario obtiene una alta dispersión y homogeneidad de la mezcla en un proceso que puede ser realizado de manera totalmente automática.

Extrusion Tek Milacron afirma que los extrusores de tornillos gemelos corrotacionales no son la única manera de procesar la harina de madera. Milacron promueve el empleo de extrusores de tornillos gemelos cónicos contrarrotacionales para alcanzar la extrusión directa de productos de compuestos de madera; entre ellos, perfiles de madera plástica. El proceso de extrusión denominado TimberEx de Milacron, procesa materiales celulósicos empleando el sistema V-MEDS-L (siglas en

inglés que significan sistema vertical mejorado de dosificación de materiales). Este sistema es una unidad de premezclado continua que dosifica la composición del compuesto, calienta el material para secarlo y luego lo alimenta al extrusor cónico. Así, el modelo CM140Z MEDS, por ejemplo, opera maximizando el llenado de los tornillos del extrusor, para alcanzar una productividad de más de 1.700 lb/h de manera consistente. Milacron también ha experimentado con mezclas de harina de madera y fibras largas de lana de vidrio cortadas. Para lograr este objetivo, adicionó un segundo punto de venteo en su extrusor de tornillos cónicos, que mejora la remoción de la humedad y genera mayor productividad. Un aparato de limpieza remueve las partículas de madera que normalmente se acumulan en el punto de venteo.

2.3 Marco conceptual

Para la elaboración de compuestos de madera plástica, se requieren de dos materiales principales, uno higroscópico que se refiere a los compuestos que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente (para otro tipo de aplicaciones estos compuestos higroscópicos son utilizados como desecantes), en este caso es la madera. El otro material es el plástico el cual es hidrofóbico, lo que significa en el contexto fisicoquímico, que es un compuesto repelido por el agua o que no se puede mezclar con ella.

El polietileno de baja y de alta densidad son polímeros termoplásticos conformados por unidades repetidas de etileno, con estructura ramificada para el de baja densidad, y estructura lineal para el de alta densidad.

El etileno es un compuesto químico orgánico formado por dos átomos de carbono enlazados mediante un doble enlace, mostrada en la Figura 2.2. Dentro de la industria química es el producto químico más importante, se halla de forma natural en las plantas.



Figura 2.2 – Etileno
Fuente: Wikipedia, 2011C

La madera para el proceso será añadida en forma de aserrín ó serrín, que son partículas que se desprenden de la madera cuando se la sierra. En la Figura 2.3, se muestra aserrín y gránulos de plástico, mientras que en el apéndice B, se muestran los gránulos y la pelusa de plástico que se obtienen como producto final del proceso de reciclaje, los cuales pueden ser de distintos gramajes y colores; así como también los diferentes perfiles de madera plástica y producto terminado.

El proceso seleccionado para la obtención de la madera plástica es la extrusión, que es la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. Tiene distintas acepciones en varias disciplinas diferentes. En la industria consiste en la utilización de un flujo continuo de materia prima para la obtención de productos, generalmente metalúrgicos y plásticos. La Figura 2.4 muestra una máquina extrusora capaz de realizar este proceso. En la extrusión la materia prima se somete a fusión, transporte, presión y deformación.



Figura 2.3 – Aserrín y gránulos de plástico.
Fuente: Greenplast, 2004



Figura 2.4 – Extrusora mono-husillo para perfiles de compuestos de madera plástica.
Fuente: Bg Plast, 2006

Extrusión con espumado químico es un proceso en el cual la resina plástica y los agentes de espumado químico se mezclan y se funden. El agente de espumado químico se descompone, liberando gas que se dispersa en el polímero fundido y se expande cuando sale del dado o cabezal, la Figura 2.5 muestra el dado, por donde sale el material extruido. Típicamente, la extrusión de perfiles espumados requiere un enfriamiento más intenso que los perfiles sólidos debido a las propiedades de aislamiento de la estructura espumada.



Figura 2.5 – Dado o cabezal de una extrusora produciendo un perfil de compuesto de madera plástica.

Fuente: Bergen International, 2008

El reciclaje primario de plásticos consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET, PEAD, PEBD, PP, PS y PVC. La Figura 2.6 muestra envases de plástico compactados. El proceso consiste en:

1. Separación: La macro separación se hace sobre el producto completo usando el reconocimiento óptico del color y la forma. La micro separación puede hacerse por una propiedad física específica como la densidad.

2. Granulado: Por medio de un proceso industrial, el plástico se muele y se convierte en gránulos.

3. Limpieza: Los plásticos granulados están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, entre otros.

4. Peletizado: Para esto, el plástico granulado debe ser extruido y cortado en pedacitos llamados pellets.



Figura 2.6 – Envases de plástico compactados para reciclaje primario.
Fuente: Recicla plástico, 2009

Criba es una lámina perforada que se emplea para separar gránulos de distintos tamaños, como la que se muestra en la Figura 2.7, del fabricante de repuestos para molinos FZ.



Figura 2.7 – Criba de lámina perforada especial para molinería.
Fuente: Fabricados FZ, 2011

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

El proyecto de investigación mediante un diseño estructurado acorde con los objetivos planteados, intenta describir el proceso de producción de madera plástica dentro de un entorno real, para la elaboración de un modelo viable, tanto de forma técnica como económica, de desarrollar un proceso industrial apoyado en las bases teóricas, siguiendo la metodología científica.

3.1 Tipo y nivel de la investigación

El estudio para desarrollar el proceso a escala piloto de producción de madera plástica se enmarcó dentro de una investigación descriptiva. De acuerdo con Tamayo (2004) este tipo de investigación “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque que se hace sobre conclusiones es dominante, o como una persona, grupo o cosa, conduce a funciones en el presente. La investigación descriptiva trabaja sobre las realidades de los hechos y sus características fundamentales es de presentarnos una interpretación correcta.” (p. 46)

En el presente trabajo se describieron los materiales y se analizaron los procesos para la obtención de madera plástica, partiendo de la investigación de campo, mediante el análisis sistemático del proceso real, así como también de la investigación documental, con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento del proceso productivo, basados en los antecedentes de manufactura de este tipo de material.

Este estudio cuantitativo, está diseñado para obtener resultados verificables con un enfoque gerencial dirigido a la inversión para el desarrollo industrial en Venezuela, a través de la evaluación técnica y económica de su factibilidad. De esta forma, el nivel del trabajo es de proyecto factible, que según Barrios (2006) para la Universidad Pedagógica Experimental Libertador: “consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades.” (p. 21)

3.2 Diseño de la investigación

La investigación se encuentra circunscrita al estado Carabobo de Venezuela, región industrial del país, donde se encuentra ubicada la empresa metalmecánica

Kruger – Brent, lugar en el cual se instaló la línea de producción de madera plástica a escala piloto, debido a su interés en la elaboración del producto y además poseen la capacidad de fabricar las piezas y los equipos en acero al carbono y acero inoxidable, requeridos para el proceso. Mientras que, los ensayos de laboratorio se realizaron en la Universidad de Carabobo, ya que se contaba con la disponibilidad de utilizar sus equipos.

Fundamentalmente el estudio consistió en producir muestras de madera plástica, garantizando su calidad mediante la realización de ensayos físicos en laboratorio y la comparación de estos resultados con los suministrados por un fabricante de madera plástica en otro país de América Latina que actualmente este comercializando el producto para el mercado en general.

Finalmente, compilar la información necesaria para determinar la rentabilidad económica de continuar con el proyecto a la escala industrial, mediante modelos financieros.

3.3 Población y muestra

La madera plástica puede ser producida a partir de diferentes matrices poliméricas, por lo tanto a nivel documental, el estudio describió los plásticos más utilizados a partir de los cuales se pueden producir estos compuestos. Sin embargo

una de las fases de este estudio define el tipo de plástico usado para producir los distintos perfiles básicos de madera plástica que se elaboraron, como lo son el redondo, el cuadrado y el rectangular.

Las probetas de madera plástica que fueron llevadas al laboratorio, se elaboraron de la muestra del perfil cuadrado o listón, a través de una selección aleatoria simple. Debido a que fue la forma más producida en el proceso y además por sus dimensiones de 2-1/2" x 2-1/2" (63,5 x 63,5 mm) era la que permitía poder mecanizar el material para obtener las probetas, requeridas en la fase de ensayos físicos.

3.4 Fases de la investigación

La investigación está comprendida por seis fases dirigidas a cumplir con los objetivos específicos, descritas a continuación:

Fase I:

Estudio del tipo de plástico, madera y aditivos que se requieren en la mezcla para producir madera plástica a través de la revisión de fuentes bibliográficas, revistas especializadas, tesis de grado y fuentes electrónicas, tales como libros y artículos en línea. De manera simultánea se realizó la investigación de campo, visitando empresas proveedoras de maquinarias, como extrusoras, empresas productoras de perfiles

plásticos y empresas encargadas del reciclaje de plásticos. Localizando también a los aserraderos que generan desechos de madera.

La información recopilada se utilizó para desarrollar las siguientes fases, obteniendo como resultado el tipo de polímero que se utilizó en el proceso, mediante la elaboración de una matriz de selección, definiendo alternativas y criterios basados principalmente en costo y abundancia de estos materiales en la región carabobeña.

Esta fase concluyó al localizar las materias primas necesarias para la producción de los prototipos de madera plástica, es decir, los proveedores del plástico, residuos de madera y aditivos.

Fase II:

Adaptación de la materia prima nacional para obtener madera plástica mediante el uso de los elementos o máquinas que forman parte del proceso productivo. Para esto se precisó la forma como se encontraba disponible la materia prima, los elementos necesarios para su adecuación y el esquema del proceso.

El plástico debe estar en gránulos (molido), en forma de pelusa o peletizado (extruido y cortado) para mezclarlo con la madera y los aditivos. Por lo tanto el paso previo a la extrusión de la mezcla, es lo que se conoce como el reciclaje primario.

El trabajo de las empresas recicladoras consiste en recibir el desecho de plástico en forma de envases, gaveras, bolsas, contenedores, tubos, tambores entre otros, y luego es separado, triturado, lavado, molido y peletizado.

En el estado Carabobo existen empresas dedicadas al reciclaje de plásticos que ofrecen el material en cualquier presentación o simplemente compactado a granel, el cual es más económico. Por esta razón se decidió incluir en el proceso una trituradora y un molino con criba, que permite adquirir el plástico en cualquier forma. La Figura 3.1 es un esquema que muestra en qué consiste la adaptación de la materia prima.

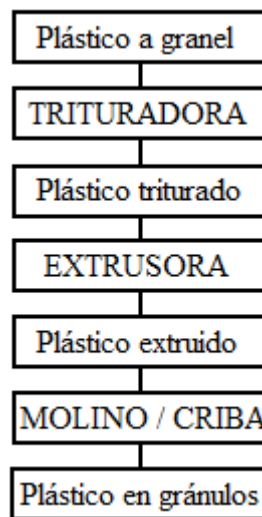


Figura 3.1 – Esquema de adaptación de la materia prima plástica.

En resumen, si el plástico se adquiere en forma de pelusa ó peletizado va directo al mezclador, para ser combinado con la madera en forma de aserrín. Por otra parte, si el plástico se obtiene en forma de desechos, como envases y gaveras, no

contaminados con otro tipo de desechos, primero va a la trituradora, mostrada en la Figura 3.2 y luego el plástico triturado es llevado a la máquina extrusora, la cual es la misma que posteriormente se utiliza para producir la madera plástica. De este proceso de extrusión se obtiene plástico en forma de cuerdas largas como fideos, los cuales son juntados e introducidos a un molino, como el mostrado en la Figura 3.3, el cual posee internamente una criba para un tamaño de partícula de 3/8 de pulgada (9,5 mm). El molino tiene conectado un ventilador-soplador que transporta las partículas (de plástico molido) a través de una tubería de 4 y 6 pulgadas de diámetro hasta un saco para su recolección.



Figura 3.2 – Trituradora fabricada en Kruger - Brent, Valencia, Venezuela.

Esta fase garantiza tener partículas de PEBD y PEAD por debajo de 9,5 mm de diámetro. Mientras que la madera se consigue en los aserraderos directamente en

forma de aserrín, simplemente se deben llenar sacos y transportarlos hasta donde se ubica el proceso.



Figura 3.3 – Molino para plásticos de Kruger - Brent.

Fase III:

Diseño de un dispositivo capaz de producir madera plástica con elementos de procura nacional. Esta fase partió de la investigación documental y de campo realizada al inicio, con la finalidad de determinar los elementos necesarios para la construcción de una máquina extrusora. En la Figura 3.4 se muestra un esquema con las partes de un extrusor mono-husillo.

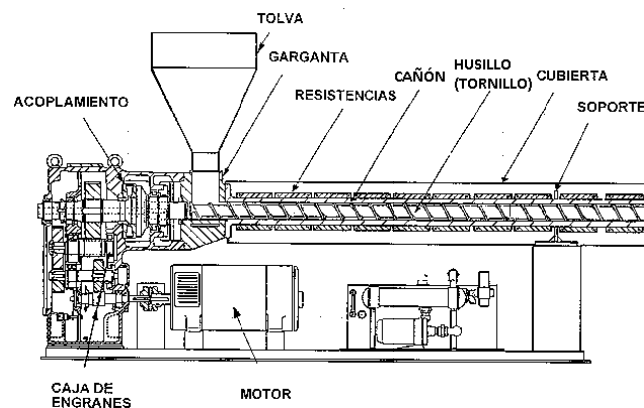


Figura 3.4 – Esquema de corte de las partes que componen una extrusora mono-husillo típico.

Fuente: Empaques plásticos de México S.A., de C.V., 2005

La escala de operación del proceso estaba definida como planta piloto por la empresa Kruger Brent, lugar donde se desarrolló la investigación. La capacidad de producción de madera plástica deseada era de 100 kg/h. De allí comienza el diseño y selección de los elementos necesarios, de forma análoga con extrusoras nuevas y usadas de capacidad similar. Luego de adquiridos los elementos, se destino un área de 50 m² dentro de la empresa para la construcción del dispositivo. Usando esquemas y planos de taller, se fue dando forma a la máquina extrusora. Luego mediante un proceso iterativo de ensayo y error se fueron ajustando los detalles, alcanzando un funcionamiento con resultados satisfactorios. Finalmente usando el programa Autocad versión 2007, se realizó un esquema como construido del dispositivo.

Fase IV:

Elaboración de un prototipo de madera plástica a través del proceso diseñado con las materias primas previamente seleccionadas. Para esto fue necesario el diseño y construcción de una máquina mezcladora – secadora, por parte de la empresa Kruger-Brent. Debido a la necesidad de garantizar una mezcla homogénea y libre de humedad.

Luego se empezaron a producir muestras de madera plástica con las tres formulaciones mostradas en la Tabla 3.1 definidas en el desarrollo de la investigación:

Tabla 3.1
Formulaciones para los prototipos de madera plástica

Formulación	Cantidad de plástico (%)	Cantidad de madera (%)
1	75	25
2	60	40
3	50	50

Nota. Formulaciones iniciales volumen / volumen.

Se elaboraron tres perfiles con las siguientes formas básicas: rectangular, cuadrado y redondo, utilizando las tres formulaciones, de acuerdo con la dinámica del proceso. Posteriormente, se realizaron pruebas operativas de corte con una sierra de disco metálico y de resistencia con una prensa hidráulica de 150 Ton, en el mismo taller metalmecánico donde se instaló el proceso piloto. Para permitir la selección de una formulación que mostrara los mejores resultados a través de una inspección visual, a fin de continuar con la elaboración de los prototipos de madera plástica con una sola formulación.

Fase V:

Comparación del prototipo de madera plástica producido por empresa Kruger Brent en Valencia, Venezuela con producto importado mediante ensayos físicos. Primeramente se realizó una búsqueda en internet de empresas que elaboraran madera plástica, luego se estableció el contacto vía telefónica y correo electrónico con la más cercana, ubicada en Bogotá, Colombia y se hizo una visita a las instalaciones de la empresa Maderplast, en Noviembre del año 2008, donde se obtuvieron muestras de

madera plástica, así como también información técnica e informes de ensayos realizados en la Universidad Nacional de Colombia y en la Universidad de los Andes.

Posteriormente, se consultó con el departamento de materiales y procesos de fabricación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo, acerca de los ensayos que se podían realizar a la madera plástica de Kruger Brent y las normas a utilizar. Para los ensayos realizados se utilizaron las normas ASTM (American Society for Testing Materials), mostradas en el apéndice F. Estas normas están disponibles en ASTM International (2011).

En detalle los ensayos fueron: Ensayo de compresión, norma ASTM D695 (Método de prueba estándar para propiedades de compresión de plásticos rígidos), utilizando dos probetas de dimensiones 12,7 x 12,7 x 50,8 mm, obteniendo resultados de esfuerzo en Newton versus deformación en milímetros, se determinó el promedio del esfuerzo máximo, para calcular el esfuerzo unitario básico mediante la ecuación:

$$\sigma_c = (R_c - 2,33S_{R_c}) / 1,4 \quad (3.1)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo unitario básico a la compresión en N/cm²

R_c : Esfuerzo máximo promedio a la compresión en N/cm²

S_{R_c} : Desviación estándar de la resistencia máxima a la compresión en N/cm²

1,4: Factor de ajuste

Ensayo de flexión, norma ASTM D790 (Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos reforzados, no reforzados y materiales de aislamiento eléctrico), utilizando tres probetas de dimensiones 16 x 17 x 180 mm, obteniendo resultados de esfuerzo versus deformación, se determinó el promedio del esfuerzo máximo, para calcular el esfuerzo unitario básico mediante la ecuación:

$$\sigma_F = (R_f - 2,33S_{RF}) / 2,25 \quad (3.2)$$

Donde:

σ_F : Esfuerzo unitario básico a la flexión en N/cm²

R_f : Esfuerzo máximo promedio a la flexión en N/cm²

S_{RF} : Desviación estándar de la resistencia máxima a la flexión en N/cm²

2,25: Factor de ajuste

Ensayo de tracción, norma ASTM D638 (Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos), utilizando dos probetas de dimensiones 15 x 15 x 180 mm, obteniendo resultados de esfuerzo versus deformación, se determinó el promedio del esfuerzo máximo, para calcular el esfuerzo unitario básico mediante la ecuación:

$$\sigma_T = (R_t - 2,33S_{RT}) \quad (3.3)$$

Donde:

σ_T : Esfuerzo unitario básico a la tracción en N/cm²

R_t : Esfuerzo máximo promedio a la tracción en N/cm²

S_{RT} : Desviación estándar de la resistencia máxima a la tracción en N/cm²

Para estos tres ensayos se empleó la máquina universal Galdabini modelo CTM 20. Mientras que para el ensayo de densidad se utilizó una balanza de precisión, para tres probetas, midiendo sus dimensiones con un vernier y determinando su densidad mediante la ecuación:

$$\delta = m/V \quad (3.4)$$

Donde:

δ : Densidad en g/cm³

m: Masa en g

V: Volumen en cm³

Para la elaboración de las probetas se usó el prototipo con el perfil cuadrado, con la formulación seleccionada en la fase anterior. Los ensayos se realizaron por duplicado para el de compresión y tracción y por triplicado para el de flexión y densidad, debido al costo de las probetas, las cuales se hicieron en una empresa de mecanizado en el centro Mauni, Valencia.

A las muestras obtenidas en Colombia provenientes de la empresa Maderplast, no fue posible realizarles los ensayos en la Universidad de Carabobo debido a que el perfil, similar al mostrado en el apéndice E, en la Figura E.8, no permitía la elaboración de las probetas, debido a sus dimensiones. Por lo tanto, los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la Universidad de Carabobo, a la madera plástica venezolana se compararon con los informes de los ensayos realizados por la

Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes a la madera plástica colombiana.

Fase VI:

Evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en Venezuela. Para determinar la rentabilidad del proyecto se utilizaron los modelos de ingeniería económica, relacionando los recursos necesarios en costos, con los ingresos, incluyendo factores como la inflación acumulada, el impuesto sobre la renta y el aumento anual de los sueldos y salarios. Para determinar el ingreso bruto fue necesario fijar el precio de venta mediante el precio de mercado, a través de una comparación de un mismo producto que sirviese de referencia, como lo es una paleta de carga, que puede ser fabricada en madera, en plástico y en madera plástica. El precio de mercado es un valor intermedio entre la madera y el plástico nacional y por debajo del precio internacional de la madera plástica.

El primer valor a determinar fue el Margen de Utilidad (MU), el cual permite conocer el lapso de tiempo en el que se recupera la inversión, entonces se calcula el valor actual (VA), modelo que procesa todos los flujos monetarios para convertirlos en una sola cantidad de dinero en el presente, para una tasa mínima de rendimiento del 30%, para luego determinar la tasa interna de retorno (TIR), todo esto para la escala piloto del proyecto. La tasa mínima de rendimiento escogida es superior a la tasa pasiva de rendimiento de los bancos en Venezuela, la cual es del 12,5%.

Con estos valores calculados, se decide determinar la factibilidad económica del mismo proceso a escala industrial incorporando a la inversión inicial la procura de dos líneas de extrusión importadas especialmente diseñadas para la producción de perfiles de madera plástica. Pasando de 60 kg/h en promedio para la escala piloto a 200 kg/h para la escala industrial. Entonces se sigue el mismo esquema, se determina el margen de utilidad, el valor actual para la misma tasa de 30% y finalmente se calcula el TIR, que indica la mayor rentabilidad posible para el caso que las ventas sean iguales al total de lo producido. Debido a la similitud de los recursos usados en la escala piloto la extrapolación de los resultados fue directa para la capacidad de la escala industrial deseada.

El margen de utilidad, el valor actual y la tasa interna de retorno se determinan con las siguientes fórmulas:

$$MU = \text{Margen de Utilidad} = \text{Utilidad Neta} / \text{Ventas} \quad (3.5)$$

Para este caso las ventas son iguales al ingreso bruto.

El valor actual se calcula utilizando todos los flujos monetarios netos del proyecto:

$$VA(i) = \sum_{t=0}^n Ft \left(\frac{P}{S_{i,t}} \right) \quad (3.6)$$

Donde:

i: Tipo de interés simple en %

n: Número de períodos de interés

t: Período en años

Ft: Flujo monetario neto

P: Cantidad de dinero presente en Bs

S: Cantidad de dinero futura (equivalente a P) en Bs

La tasa interna de retorno (TIR o i^*) es la tasa de interés que hace que los ingresos y los costos de un proyecto sean iguales, entonces se tiene que:

$$VA(i^*) = 0 \quad (3.7)$$

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el inicio de la investigación se tuvo el propósito de poder contar con un estudio de ingeniería desde el punto de vista empresarial que pudiera comprobar la factibilidad técnica y económica de desarrollar un proceso de producción industrial de madera plástica con materia prima nacional, enmarcado en las condiciones económicas y políticas actuales que rigen en Venezuela. Con esto en mente se presentan a continuación los resultados y su discusión acorde con los objetivos trazados.

4.1 Estudio del tipo de plástico, madera y aditivos que se requieren en la mezcla para producir madera plástica

El estudio de los polímeros termoplásticos generó como resultado el tipo de plástico con el cual se desarrolló el resto de la investigación, a través de la matriz de selección mostrada en la Tabla 4.2, mientras que la Tabla 4.1 se refiere a la calificación de los criterios. Tal como se mencionó en las fases de la investigación, los criterios principales fueron costo y abundancia, la cual hace referencia a la facilidad de conseguir el material en Carabobo.

Tabla 4.1
Criterios y calificación para la matriz de selección

Calificación (Puntos)	Costo de material virgen (Bs/kg)	Costo de material reciclado (Bs/kg)	Material producido en Venezuela	Material reciclado en Carabobo
4	Menor a 9	Menor a 3	Si	Si
3	9 - 16	3 - 8	-	-
2	16 - 25	8 - 16	-	-
1	25	Mayor a 16	No	No

Nota. Tabla elaborada con datos suministrados por proveedores de materiales plásticos, cuya fuente no será mencionada por ser de carácter confidencial.

Tabla 4.2
Matriz de selección del tipo de plástico

Tipo de plástico	Costo de material virgen	Costo de material reciclado	Material producido en Venezuela	Material reciclado en Carabobo	Total (Puntos)
Polietileno de baja densidad (PEBD)	4	4	4	4	16
Polietileno de alta densidad (PEAD)	4	4	4	4	16
Tereftalato de polietileno (PET)	1	4	1	4	10
Polipropileno (PP)	2	3	4	4	13
Policloruro de vinilo (PVC)	3	3	4	4	14
Poliestireno (PS)	2	2	4	4	12
Policarbonato (PC)	1	1	1	1	4

Nota. Tabla elaborada según calificación de criterios de la Tabla 4.1.

Se decidió utilizar polietileno de baja y de alta densidad de acuerdo al resultado arrojado por la matriz de selección, con la calificación máxima de 16. Sumado a lo

investigado, donde se señala al polietileno como el tipo de plástico de mayor producción y más económico a nivel mundial. En la Tabla 4.3 se muestra la composición de la mezcla que fue utilizada para continuar con la investigación. Sin embargo, el proceso de extrusión es capaz de producir madera plástica a partir de cualquiera de los otros polímeros estudiados.

Mientras que la madera escogida fue la reciclada en forma de polvo o aserrín proveniente del desecho de los aserraderos ubicados en el estado Carabobo. En cuanto a los aditivos, se usaron los mínimos necesarios para poder analizar un producto básico incurriendo en el menor costo posible. De los aditivos estudiados solo se utilizó anhídrido ftálico, de forma sintética en pastillas pulverizadas para ayudar a disminuir la tensión superficial de la madera para una mayor cohesión de las partículas. El pigmento fue negro de humo, para unificar el color y aceite de soya, el cual es de tipo vegetal para lubricar la máquina y a su vez evita que el pigmento se pierda. La formulación de la cantidad de madera y plástico es mostrada en los resultados de la fase de producción de los prototipos de madera plástica.

Tabla 4.3
Composición de la mezcla para producir madera plástica

Componente	Descripción
Plástico	Polietileno de baja densidad (PEBD) y Polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado.
Madera	Aserrín de pino caribe.
Aditivos	Agente de acople: Anhídrido ftálico. Pigmento: Negro de humo. Lubricante: Aceite de soya. (Oliosoya).

4.2 Adaptación de la materia prima nacional para obtener madera plástica

La adaptación de la materia prima consistió en transformar la forma en la que se encontraba el plástico (PEBD y PEAD) y llevarla a un tamaño de partícula inferior a los 3/8 de pulgada (9,5 mm). Para esto se menciona en la Tabla 4.4 las diferentes formas en las que se consiguió el plástico.

Tabla 4.4
Presentación del plástico encontrado en Carabobo

Presentación del plástico	Descripción
Saco de 25 kg	Plástico virgen peletizado
Saco de 500 a 1000 kg	Llamados “Big-bag”. Plástico reciclado: Forma de pelusa, Triturado y lavado, Peletizado
Envases, gaveras y paletas	A granel compactado, sin impurezas.

A continuación en la Figura 4.1, se muestra el esquema general que siguió el proceso de producción a escala piloto de madera plástica en la empresa Kruger Brent, comenzando con el plástico y las máquinas involucradas en el proceso, hasta los tres diferentes productos finales que se obtuvieron. El esquema del proceso deseado permitió conocer que elementos se requerían para que el mismo pudiese admitir el plástico en cualquier forma que fuese encontrada.

Ramos (2007), señala que de acuerdo a la experiencia, la salida del extrusor dependerá de la forma en que el material plástico se alimenta a la tolva, recomendando partículas con forma esférica de alrededor de 3 mm de diámetro.

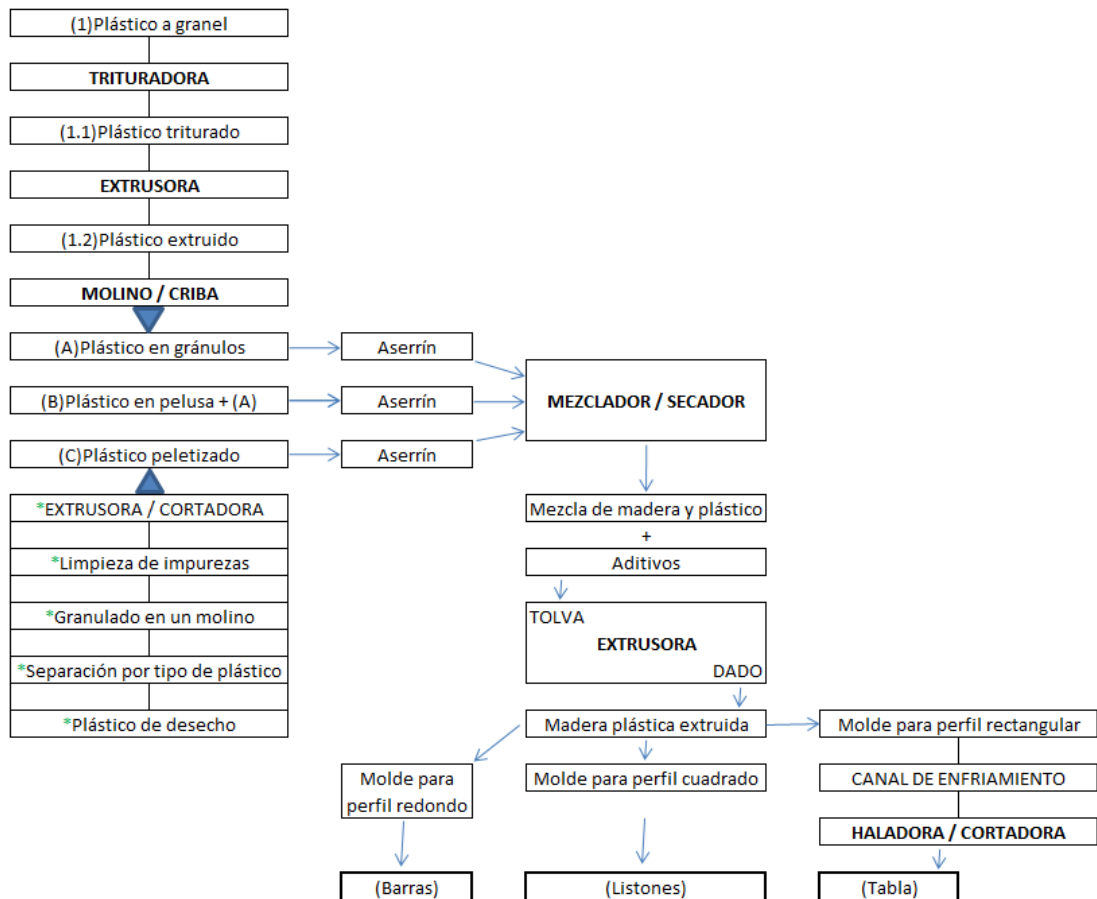


Figura 4.1 – Esquema del proceso de producción de madera plástica de la empresa Kruger Brent, C.A.

(*)Proceso seguido por empresas recicladoras de plástico.

En este sentido, con relación al esquema del proceso y a la presentación disponible del plástico en Carabobo se elaboró la Tabla 4.5, la cual explica el procedimiento a seguir para adaptar la materia prima plástica.

Tabla 4.5
Procedimientos para adaptar el plástico a la forma requerida

Forma del plástico:	Procedimiento para adaptar la materia prima plástica:
(1)Plástico a granel, seleccionado por tipo de plástico, libre de impurezas, en forma de envases u otras formas, compactado.	Triturar, extruir, moler y cribar para obtener (A) gránulos de tamaño inferior a 9 mm de diámetro.
(1.1)Plástico triturado o en gránulos mayores a los 9 mm de diámetro.	Extruir, moler y cribar para obtener (A) gránulos de tamaño inferior a 9 mm de diámetro.
(B)Plástico en pelusa o polvo	Mezclar de forma manual con un poco de (A) gránulos de tamaño inferior a 9 mm de diámetro.
(C)Plástico peletizado, partículas alrededor de los 3 mm de diámetro.	Ninguno.

Nota. Los números y letras entre paréntesis hacen referencia a la Figura 4.1.

Para que el proceso estuviese en capacidad de admitir plástico en cualquiera de las presentaciones disponibles, fue necesario incluir la trituradora, que fue construida por la empresa Kruger Brent, Figura 3.2 mostrada en la fase II de la investigación, así como también un molino para plástico, que posee internamente una criba con perforaciones de 3/8 de pulgada, garantizando la obtención de gránulos con un tamaño inferior a esta medida. Acorde con la experiencia, el uso de la pelusa de plástico no es muy eficiente por sí sola, ya que debe ser mezclada con gránulos para estimular el arrastre de las partículas por parte del tornillo extrusor.

La otra materia prima es la madera, la cual se encontró en los aserraderos de Carabobo directamente en forma de aserrín. Este desecho de madera no tiene ningún costo, solamente el asociado al transporte.

4.3 Diseño de un dispositivo capaz de producir madera plástica con elementos de procura nacional

En este punto del desarrollo del proceso, ya estaba establecida la escala de la operación, al respecto Costa, Cervera, Cunill, Esplugas, Mans y Mata (1991), señalan que: la escala de la operación se decide, basándose en consideraciones sobre la cantidad de producto a fabricar. Se podrá trabajar a escala de laboratorio, a escala de planta piloto, a escala semi-industrial o a escala industrial, por orden progresivamente creciente de tamaños. Esta clasificación no está correlacionada con una cantidad de producto determinada. Corresponde también a esta etapa la decisión sobre la forma de operación: continua, discontinua o semi-continua.

La extrusora fue diseñada y construida por la empresa Kruger Brent, para un proceso de planta piloto, por cargas o de forma intermitente. El diseño partió del estudio y comparación de máquinas nuevas y usadas con capacidad similar a la deseada, de 100 kg/h.

En la Tabla 4.6 se muestra los parámetros deseados para los elementos necesarios para construir el dispositivo y los elementos que finalmente se adquirieron.

En el apéndice C, se muestra un plano elaborado en Autocad versión 2007, con el esquema de la extrusora construida en la empresa Kruger-Brent, C.A., la cual está

ubicada en la zona industrial La Guacamaya, sector La Florida, en Valencia, estado Carabobo.

Tabla 4.6
Elementos para la construcción de la extrusora

Elementos requeridos para la construcción de una extrusora	Elementos utilizados para la construcción de la extrusora en Kruger Brent
Cañón y tornillo 50 < Diámetro (mm) < 70	Cañón y tornillo Diámetro 65 mm Relación L/D 25:1
Motor 20 < Potencia (HP) < 40	Motor eléctrico marca WEG 30 HP – 1765 rpm
Caja de engranajes 10:1	Caja reductora marca Radicon Relación 10:1
Tablero controlador de motor	Control de motor WEG modelo CFW 09 Variador de frecuencia.
Resistencias capacidad hasta 300°C	Resistencias estándar para el diámetro del cañón. 2 resistencias por sección, para 4 secciones. 1 resistencia para el dado o cabezal. Total 9 resistencias.
Tablero controlador de temperatura	Control de resistencias marca Philips e indicadores de temperatura marca Petroterm.
Tolva	Tolva de acero inoxidable fabricada en Kruger.
Motor para tolva	Motor eléctrico de 0,25 HP 1360 rpm.
Tornillo sin fin para tolva	Tornillo sin fin fabricado en Kruger.
Control de motor para sin fin	Control variador de frecuencia marca Emerson.
Soportes	Estructura metálica fabricada en Kruger con perfil de acero al carbono.
Dado o cabezal	Varios modelos de cabezales fabricados en Kruger.

Según Ramos (2007) se puede obtener entre 2,0 y 4,5 kg/h para LDPE y HDPE por cada HP del motor extrusor. Por lo tanto con un motor de 30 HP instalado en la

extrusora, se alcanza un proceso productivo con una capacidad de referencia entre 60 y 135 kg/h. En la Figura 4.2, se muestra una extrusora y sus partes.

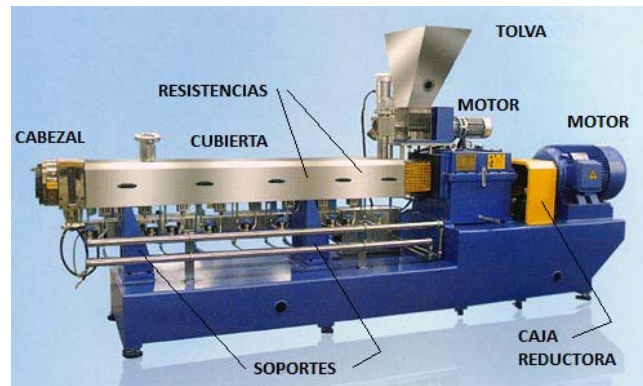


Figura 4.2 – Extrusora mono-husillo y sus partes.
Fuente: Eco Solution, 2004.

En la Tabla 4.7 se muestran los problemas operativos y soluciones implementadas para la puesta a punto de la extrusora mono-husillo fabricada en Kruger, hasta lograr obtener un dispositivo capaz de producir madera plástica. Esta labor se realizó en 4 meses aproximadamente.

Tabla 4.7
Problemas y soluciones en la puesta a punto de la extrusora

Problema	Solución
Cañón y tornillo de 60 mm fabricado en Kruger no tuvo buen desempeño. Se trancaba el tornillo, se trancaba el material, entre otros.	Adquisición de un conjunto cañón y tornillo de 65 mm. Condición: usado.
Se atascaba la materia prima al ser introducida en la tolva y en la entrada del tornillo extrusor.	Se incorporó dentro de la tolva un eje desterronador para evitar atascos y un tornillo sin fin para dosificar la alimentación de materia prima al tornillo extrusor.

Problema	Solución
Producto extruido poroso.	<ul style="list-style-type: none"> -Se varió la velocidad del tornillo extrusor mediante el uso del variador de frecuencia. -Se diseño y construyó un dispositivo mezclador - secador, para retirar la humedad de la materia prima. -Se colocó un acceso en la alimentación de la tolva al tornillo extrusor para ver posibles atascos y a su vez como venteo para la salida de gases.
Se tapaba de forma parcial el dado o cabezal por causa de impurezas en la materia prima.	<ul style="list-style-type: none"> -Se modifico el dado. -Se fabricaron varios tipos de dado. -Se instaló un sistema de dos mallas accionadas de forma hidráulica para atrapar las impurezas.
El material extruido salía muy fluido, es decir, con muy baja viscosidad, con tendencia a distorsionarse.	<ul style="list-style-type: none"> -Se corrigió velocidad del tornillo. -Se corrigió perfil de temperatura. -Se corrigió la temperatura en el dado. -Se instaló una canal de acero inoxidable para llenar con agua a la salida del dado a fin de enfriar el producto.

Mink (1991), recomienda las zonas de temperatura para la elaboración de polietileno de alta y baja densidad, mostradas en el apéndice D, las cuales se usaron como punto de partida para este proceso piloto, corrigiendo hasta alcanzar un resultado satisfactorio. El perfil de temperaturas, la velocidad del tornillo y demás valores de la variables involucradas en el proceso no serán mostradas por ser de carácter confidencial.

La Figura 4.3 muestra fotografías de la extrusora mono-husillo construida para desarrollar el proceso piloto de producción de madera plástica cuyos elementos fueron en su totalidad adquiridos en Venezuela.



Figura 4.3 – Extrusora mono-husillo fabricada en Kruger - Brent en Valencia, Venezuela.

4.4 Producción de prototipos de madera plástica a través del proceso diseñado

Para cumplir con este objetivo fue necesario el diseño y la construcción por parte de la empresa Kruger-Brent, de una máquina mezcladora - secadora. Con la finalidad de introducir a la tolva de la extrusora una mezcla lo más homogénea posible y libre de humedad, evitando de esta manera los problemas que esto produce. A continuación se muestra en la Figura 4.4 la máquina mezcladora – secadora.



Figura 4.4 – Mezclador–secador fabricado en Kruger – Brent en Valencia, Venezuela.

La máquina mezcladora – secadora cuyas características técnicas están señaladas en la Tabla 4.8, posee una compuerta superior por donde se introduce el plástico y la

madera, mientras que un motor eléctrico mueve un eje que posee varias paletas que efectúan el mezclado. Adicionalmente otro motor acciona un ventilador soplador el cual introduce aire que es calentado por dos resistencias, este aire caliente retira la humedad presente en la materia prima. La máquina también posee en uno de sus lados un ciclón para recoger las partículas y evitar que estas salgan del equipo de mezclado.

Tabla 4.8
Características del mezclador - secador

Dimensiones:	0,76 x 1 x 2,4 m.
Capacidad:	Diseño: 1 Ton. Operación: 800 kg.
Motor del eje:	7,5 HP – 1750 rpm.
Diámetro del eje:	2”
Motor del soplador:	1 HP – 1360 rpm.
Resistencias:	2 resistencias hasta 300 °C

En las bases teóricas se mencionó la proporción de madera en la mezcla, la cual va desde un 10% hasta 60 % y en algunos casos extremos hasta 80% en volumen. Sabiendo esto, inicialmente se deseaba ensayar con las formulaciones de la Tabla 3.1.

Sin embargo por la dinámica del proceso piloto, se hizo más fácil controlar la formulación introduciendo al mezclador – secador, el plástico y la madera por tobos o cuñetes de 5 galones (19 litros). Por esta razón las formulaciones realmente utilizadas se muestran en la Tabla 4.9 basadas en este método.

Tabla 4.9
Formulaciones usadas para producir madera plástica

Formulación	Cantidad de plástico (%)	Cantidad de madera (%)
10 partes de plástico y 4 partes de aserrín	71,4	28,6
9 partes de plástico y 5 partes de aserrín	64,3	35,7
8 partes de plástico y 6 partes de aserrín	57,1	42,9

Nota. Formulaciones volumen / volumen.

Mink (1991) menciona que, para la mayor parte de los termoplásticos se recomienda un secado previo, con objeto de reducir como mínimo a un 0,05% la humedad que contiene la granza. En referencia a lo anterior, el mezclador – secador se utilizaba a una temperatura de 80°C durante 1 hora. Aunque no se midió la humedad, este tiempo de permanencia ofreció resultados satisfactorios.

Utilizando las tres formulaciones mencionadas en la Tabla 4.9 se elaboraron tres tipos de perfiles: redondo, rectangular y cuadrado. Posteriormente, se le realizaron pruebas en el taller metalmecánico tales como corte, con una sierra de disco metálico, y de resistencia utilizando una prensa hidráulica de 150 Ton. Con la finalidad de realizar solamente una inspección visual de las secciones transversales, con lo cual se determinó lo siguiente:

La formulación de 71,4% plástico – 28,6% madera presentó los mejores resultados en la inspección visual de forma externa e interna, sin presencia de

porosidades, tal como se muestra en la Figura 4.5 donde aparecen las muestras con las tres formulaciones y el efecto de la humedad al no utilizar el mezclador – secador.



Figura 4.5 – Muestras de madera plástica elaboradas con diferentes formulaciones.

A partir de este resultado se descartan las otras formulaciones y se continuó trabajando utilizando sólo la formulación de 28,6% de madera en la mezcla.

En la Figura 4.6, se muestran los tres perfiles básicos denominados prototipos, que se produjeron en el proceso piloto y en la Tabla 4.10 se señalan sus dimensiones.



Figura 4.6 – Prototipos de madera plástica: perfil rectangular (tabla), perfil cuadrado (listón) y perfil circular (barra).

Tabla 4.10
Dimensiones de los perfiles de madera plástica

Tipo de perfil	Dimensiones
Tabla o perfil rectangular	3-1/2" x 1/2" (88,9 x 12,7 mm)
Listón o perfil cuadrado	2-1/2" x 2-1/2" (63,5 x 63,5 mm)
Barra o perfil redondo	2" (50,8 mm)

4.5 Comparación del prototipo de madera plástica obtenido con producto importado mediante ensayos físicos

En la fase de búsqueda de información se ubicaron empresas como: Producol en Costa Rica, Lignoplast y Greenplast en Chile, SGR madera plástica en Cali y Maderplast en Bogotá, Colombia. Dada la oportunidad y luego de establecer una comunicación se decide viajar y visitar a esta última empresa.

Maderplast, empresa fabricante de estructuras de madera plástica aplicadas al sector industrial, constructor y del amoblamiento urbano, agropecuario y floricultor.

Se dedican a elaborar diferentes productos como vigas, parales, listones, postes y tablas. Esta empresa nos proporcionó muestras de perfiles producidos por ellos como el que se muestra en la Figura 4.7, así como también informes de los ensayos de las propiedades físicas realizados en los Laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia y en el Centro de Investigaciones en Procesamiento de Polímeros (CIPP) de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia. Estos informes, así como la hoja técnica y de venta de la madera plástica producida por Maderplast se encuentran en el apéndice E.



Figura 4.7 – Perfil de madera plástica de Maderplast, Colombia.

Para realizar los ensayos físicos al prototipo de madera plástica producido en Kruger Brent, Valencia, Venezuela se consultó al departamento de materiales y procesos de fabricación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo, quienes indicaron las dimensiones de las probetas de acuerdo a las normas D-695, D-790 y D-638 de ASTM (American Society for Testing Materials), mostradas en el apéndice F.

4.5.1 Ensayos de laboratorio a la madera plástica de Kruger Brent

Para la elaboración de las probetas se utilizó madera plástica elaborada en la empresa Kruger Brent, del prototipo con perfil cuadrado o listón cuya formulación es de 71,4% plástico y 28,6% madera. A continuación se muestran las Tablas 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 con los ensayos de compresión, flexión, tracción y densidad respectivamente, realizados en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de Carabobo.

Estos ensayos fueron realizados con una máquina universal semejante a una prensa ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales, como por ejemplo los polímeros. Mientras que para la densidad se utilizó una balanza de precisión para determinar la masa de las probetas y un vernier para medir sus dimensiones.

Tabla 4.11
Ensayo de compresión

Descripción:	Ensayo de compresión para plástico
Norma:	ASTM D 695 / NTC 1011
Material:	Madera plástica
Dimensiones de las muestras:	12,7 x 12,7 x 50,8mm (1/2"x1/2"x2")
Velocidad del ensayo:	4 mm/min
Carga máxima:	30 kN
Equipo:	Máquina universal Galdabini CTM 20

Descripción:	Esfuerzo máximo (N):	Deformación (mm):
Probeta 1	5.276	6,12 (12,0%)
Probeta 2	5.545	10,06 (19,8%)
Promedio:	5411	15,9%

Área (cm²)	Resistencia máxima a la compresión (N/cm²)	Desviación estándar compresión (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico compresión (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico compresión (MPa)
1,61	3355	118	2200	22

Nota. El esfuerzo unitario básico a la compresión fue calculado con la ecuación (3.1).

Tabla 4.12
Ensayo de flexión

Descripción:	Ensayo de flexión para plásticos reforzados. Método de la viga simple cargada al centro de la luz.
Norma:	ASTM D 790 / NTC 1011 / NTC 1769 (1982)
Material:	Madera plástica
Dimensiones de las muestras:	16 x 17 x 180 mm
Velocidad del ensayo:	4 mm/min
Carga máxima:	10 kN
Equipo:	Máquina universal Galdabini CTM 20

Descripción:	Esfuerzo máximo (N):	Deformación (mm):
Probeta 1	1.364	2,97
Probeta 2	1.238	2,46
Probeta 3	1.530	3,65
Promedio:	1.377	3,02

Área (cm²)	Resistencia máxima a la flexión (N/cm²)	Desviación estándar flexión (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico flexión (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico flexión (MPa)
2,72	506	54	169	1,7

Nota. El esfuerzo unitario básico a la flexión fue calculado con la ecuación (3.2).

Tabla 4.13
Ensayo de tracción

Descripción:	Ensayo de tracción de los plásticos.
Norma:	ASTM D 638
Material:	Madera plástica
Dimensiones de las muestras:	15 x 15 x 180 mm
Velocidad del ensayo:	4 mm/min
Carga máxima:	10 kN
Equipo:	Máquina universal Galdabini CTM 20

Descripción:	Esfuerzo máximo (N):	Deformación (mm):
Probeta 1	3.907	18,77
Probeta 2	3.972	20,31
Promedio:	3.940	19,54

Área (cm²)	Resistencia máxima a la tracción (N/cm²)	Desviación estándar tracción (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico tracción (N/cm²)	Esfuerzo unitario básico tracción (MPa)
2,25	1751	46	1644	16,4

Nota. El esfuerzo unitario básico a la tracción fue calculado con la ecuación (3.3).

Tabla 4.14
Ensayo de densidad

Descripción:	Ensayo de densidad
Material:	Madera plástica
Equipo:	Balanza de precisión

Descripción:	Dimensiones (mm):	Peso (g):	Densidad (g/cm³):
Probeta 1	13 x 13,5 x 54	8,40	0,89
Probeta 2	13,4 x 13,5 x 54	8,70	0,89
Probeta 3	13 x 13,7 x 56	9,00	0,90
Promedio:			0,89

Nota. La densidad fue calculada con la ecuación (3.4).

En la Figura 4.8 se muestra la máquina universal que fue utilizada para la realización de los ensayos en la Universidad de Carabobo.



Figura 4.8 – Máquina Galdabini para ensayos mecánicos, Universidad de Carabobo.

La máquina Galdabini genera archivos en su computadora, que contienen los puntos de esfuerzo versus deformación de cada ensayo. Al procesar estos datos con la ayuda de la hoja de cálculo de Microsoft Excel versión 2007, se elaboraron los gráficos mostrados en la Figura 4.9 que representan el resultado de una de las probetas de madera plástica de cada ensayo.

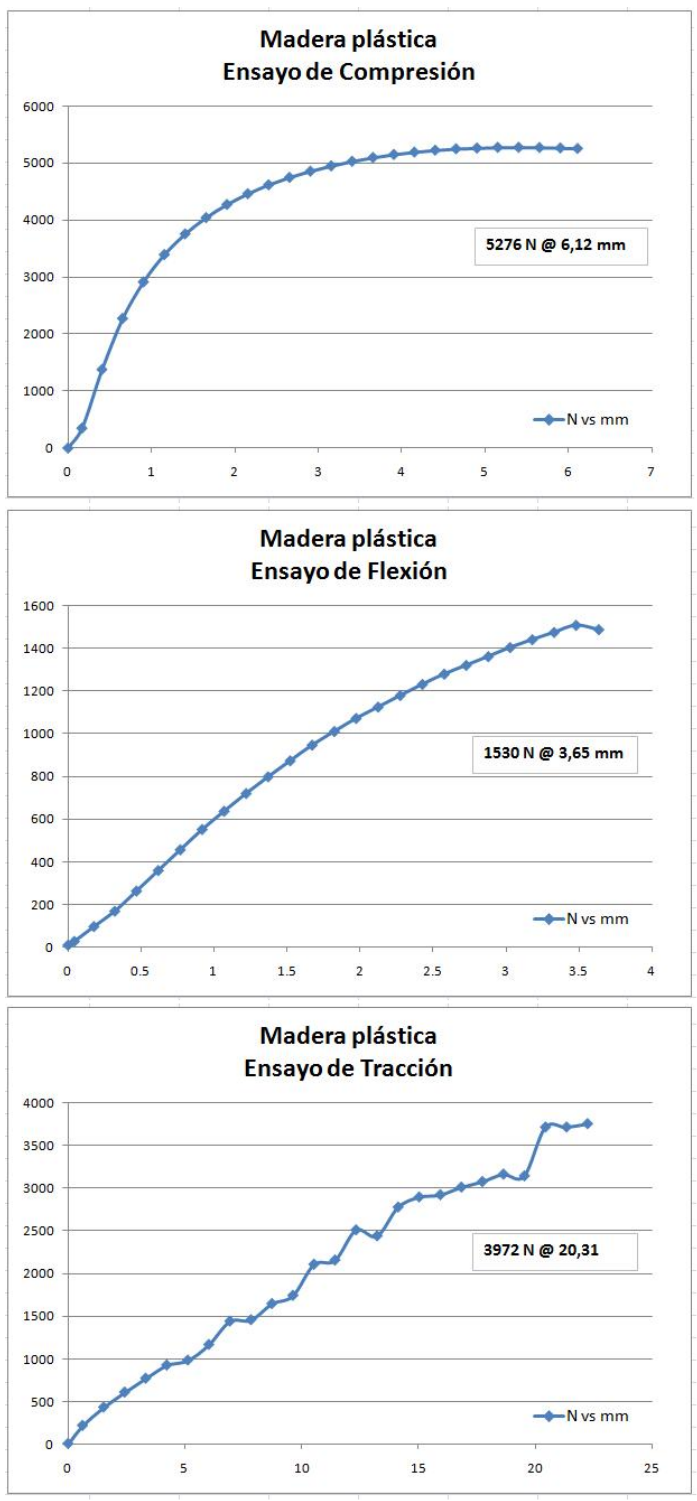


Figura 4.9 – Gráficos de esfuerzo-deformación realizados a la madera plástica.

4.5.2 Comparación de resultados con el producto importado

En la Tabla 4.15 se muestra la comparación de los resultados de los ensayos realizados a la madera plástica del proceso piloto de Kruger con los datos suministrados por Maderplast a la madera plástica colombiana.

Tabla 4.15
Comparación de ensayos físicos realizados a la madera plástica de Kruger Brent en Venezuela con la importada de Maderplast en Colombia

Propiedad	Madera plástica Kruger Brent -Venezuela	Madera plástica Maderplast – Colombia
Esfuerzo unitario básico a la compresión (MPa)	22,0	17,8
Deformación a compresión (%)	15,9	14,6
Esfuerzo unitario básico a la flexión (MPa)	1,7	7,8
Esfuerzo unitario básico a la tracción (MPa)	16,4	24,0
Densidad (g/cm ³)	0,89	0,805

4.5.3 Análisis de la comparación entre madera plástica venezolana con la colombiana

- Para el esfuerzo unitario básico a la compresión se utilizó el resultado obtenido por dos probetas ensayadas en la Universidad de Carabobo y usando la misma ecuación del ensayo hecho por la Universidad Nacional de Colombia, mostrado en la Figura E.2, de acuerdo con la ASTM D695 y la NTC 1011 (Norma Técnica Colombiana – Maderas. Determinación de los

esfuerzos básicos). La madera plástica elaborada en Kruger obtuvo un resultado de esfuerzo unitario básico a la compresión de 22,0 MPa, mientras que la madera plástica colombiana obtuvo 17,8 MPa en el ensayo realizado en la Universidad Nacional de Colombia y 16,1 MPa en el ensayo realizado por la Universidad de los Andes, mostrado en la Figura E.1. Por lo tanto se afirma que la madera plástica producida por Kruger en Valencia, superó el valor esperado para este ensayo, debido a la proporción de plástico presente en la mezcla.

- Igual que para el cálculo de esfuerzo unitario básico a la compresión, la Universidad Nacional de Colombia utilizó la ASTM D 790 y NTC 1011, para determinar el esfuerzo unitario básico a la flexión. Por esta razón y para poder realizar una comparación, a los resultados obtenidos en la Universidad de Carabobo se les aplicó la ecuación mostrada en la Figura E.4. Donde la madera plástica de Kruger obtuvo un valor de 1,7 MPa, mientras que la madera plástica colombiana muestra un valor de 7,8 MPa para el ensayo realizado en la Universidad Nacional de Colombia. Esta diferencia se debe a la carencia de agentes de acople en la madera plástica de Kruger.
- Para el esfuerzo unitario básico a la tracción se obtuvo un valor de 16,4 MPa para la madera plástica elaborada por Kruger en Valencia y ensayada en la Universidad de Carabobo, comparándose con el valor de 24 MPa extraído de la información técnica, mostrada en la Figura E.6 de la madera plástica

producida por Maderplast, debido a que esta empresa no suministro el ensayo realizado de esta propiedad. De igual forma esta característica puede mejorar con el uso de agentes de acople.

- El ensayo de densidad se realizó en una balanza de precisión, resultando una densidad de $0,89 \text{ g/cm}^3$ para la madera plástica de Kruger y $0,805 \text{ g/cm}^3$ en el ensayo de densidad para la madera plástica de Maderplast, mostrado en la Figura E.5 realizado por la Universidad Nacional de Colombia. Para explicar esta diferencia se debe tener en cuenta que la madera plástica se produce a partir de plásticos reciclados, con densidades diferentes, que oscilan entre $0,9$ y $0,97 \text{ g/cm}^3$. En realidad la densidad no es una característica a controlar en el proceso productivo, sin embargo proporciona una idea bastante clara de la proporción de madera y plástico utilizada en su elaboración. Es importante señalar que mayor cantidad de plástico ofrece mayor resistencia, pero la intención de la madera plástica es tratar de utilizar la mayor cantidad de madera para conseguir un producto más económico.
- En base a los resultados anteriores se confirma la capacidad de la planta piloto ubicada en Valencia, para producir madera plástica con características muy similares a las producidas por Maderplast. Esta empresa colombiana hizo sus primeros ensayos en el año 2004 y actualmente produce madera plástica de tres calidades, mostradas en la Figura E.7, resumidas en la Tabla 4.16:

Tabla 4.17
Productos comercializados por Maderplast en Colombia

Producto	Garantía
Alto impacto – color verde Solo plástico original (virgen)	5 años
Medio impacto – color gris Mezcla de plástico reciclado y original	1 año
Reciclado – color negro Solo plástico reciclado.	Sin garantía

En Maderplast (2007), se muestran otros ensayos no cuantificados, realizados a la madera plástica colombiana como: resistencia al fuego, resistencia a temperaturas inferiores a 0°C, pruebas con sustancias acidas, pruebas de aislamiento acústico y eléctrico.

En la empresa Kruger Brent, se realizaron pruebas operativas a la madera plástica de corte, taladrado y torneado, con resultados satisfactorios, demostrando que es un material muy versátil.

El nivel que alcanzó la madera plástica en la escala piloto permite ofrecer productos para el sector agrícola e industrial de Venezuela. Sin embargo para aplicaciones más decorativas como en la construcción de pisos y muebles se debe continuar con el desarrollo del proceso para obtener perfiles con una mejor presentación.

4.6 Evaluación de la factibilidad económica del desarrollo de un proceso productivo de madera plástica en Venezuela

Para determinar la factibilidad económica se calculó el valor actual (VA) y la tasa interna de retorno (TIR), con dos enfoques. Primero utilizando la capacidad productiva promedio de la planta piloto de 60 kg/h y luego se extrapola esta información a una escala industrial.

A continuación se muestra en la Tabla 4.17 la inversión realizada por la empresa Kruger Brent para la puesta en funcionamiento de la planta piloto, en la Tabla 4.18 los valores de inflación acumulada en los últimos años en Venezuela y la Tabla 4.19 contiene el resto de cifras utilizadas para la evaluación del proyecto. En el apéndice G se muestran los cálculos efectuados para el desarrollo de este objetivo final.

Tabla 4.17
Inversión inicial para producir madera plástica a escala piloto

Descripción	Costo (Bs)
Extrusora mono-husillo y accesorios	60.000,00
Trituradora de plástico	120.000,00
Dado o cabezal de extrusión	10.000,00
Mezclador - secador	30.000,00
Haladora – cortadora	40.000,00
Personal para instalación (G.1)	36.000,00
TOTAL:	296.000,00 Bs. (69.000,00 USD)

(G.1) Véase apéndice G.

Nota. Tabla elaborada con datos suministrados por la empresa Kruger - Brent, 2011, Valencia.

Tabla 4.18
Inflación acumulada desde el año 2007 hasta el 2010 en Venezuela

Año	Inflación
2007	22,5%
2008	30,9%
2009	25,1%
2010	27,2%

Nota. Tabla elaborada con datos tomados del Banco Central de Venezuela (BCV), 2011.

La inflación representa el incremento sostenido y generalizado de los precios de los bienes y servicios. Mientras que Venezuela es la cuarta economía más grande de América Latina posee la inflación más alta en la región, por quinto año consecutivo (Wikipedia, 2011B), por lo tanto es un factor importante para la evaluación de proyectos de inversión en el país.

Tabla 4.19
Cifras utilizadas para la evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso productivo de madera plástica

Descripción	Valor
Aumento del salario mínimo (G.2)	25% anual
Plástico triturado a granel	0,6 Bs/kg
Camión 350 (Transporte)	200.000,00 Bs.
Alquiler de galpón de 1.000 m2 Zona Industrial de Carabobo	12.000 Bs/mes
Costo de la energía eléctrica (G.3)	800 Bs/mes
Personal para producción (G.4)	277.500 Bs/año

(G.2)(G.3)(G.4) Véase apéndice G.

Nota. Cuadro elaborado con datos suministrados por Kruger – Brent.

El desecho de madera (aserrín) utilizado para la producción de la madera plástica no posee ningún costo, solamente el asociado a su transporte, por este motivo se incluye la adquisición de un camión 350 para tal fin. Por lo tanto la inversión inicial es el total de la Tabla 4.17 más el costo del camión: $II = 496.000$ Bs.

4.6.1 El precio de venta

El precio de venta de la madera plástica venezolana se determinó comparando el precio de venta de la madera plástica colombiana con el precio de venta de una paleta de carga industrial de madera y de plástico inyectado hechas en Venezuela. El precio de venta se fijó mediante el concepto conocido como precio de mercado, de acuerdo con las características del entorno del producto.

La Tabla 4.20 muestra los precios de venta promedio de la madera plástica elaborada por Maderplast en Colombia, extraídos de la Figura E.7 y mostrados en dólares americanos por kilogramo.

Tabla 4.20
Precio de venta de la madera plástica de Maderplast en Colombia

Descripción / Garantía	Precio (Pesos/kg)	Precio (USD/kg)
Alto impacto / 5 años	12.009	6,47
Medio impacto / 1 año	9.607	5,18
Reciclado / Sin garantía	3.315	1,79

Nota. Cuadro resumen de los valores promedio de las Tablas G.5.1, G.5.2 y G.5.3 del apéndice G.

Para una tasa de cambio de 1.855 pesos colombianos por dólar americano.

La Tabla 4.21 muestra la descripción y precio de venta de una paleta de carga en madera de pino seco y una paleta de carga extrafuerte fabricada mediante inyección de espuma estructural de PEAD. Mientras que el resumen de los precios analizados y el precio de venta seleccionado se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla 4.21
Precio de venta de paletas de carga de madera y de plástico en Venezuela

Paleta de madera pino seco Descripción:	Paleta extrafuerte de plástico Descripción:
Dimensiones: 100 x 120 x 12,5 cm. Compuesta por: 8 tablas de 100 x 10 x 2,5 cm, 4 listones de 120 x 10 x 5 cm, 4 tablas de 100 x 10 x 5 cm. Precio: 60 Bs. (Octubre, 2008) Precio: 125 Bs. (Agosto, 2010) Peso: 35,2 kg.	Dimensiones: 100 x 120 x 16 cm. Modelo: EXA-2000 / PE-100 4 entradas para montacargas Capacidad de carga: Estática: 5.000 kg / Dinámica: 1.800 kg Precio: 573 Bs. (Octubre, 2008) Precio: 750 Bs. (Agosto, 2010) Peso: 31 kg

Nota. Cuadro realizado con datos suministrados por Maderera La Ojedaña, Los Guayos y por Hardplast, San Diego, 2010.

Tabla 4.22
Precio de venta de la madera plástica hecha en Venezuela comparado con madera, plástico y madera plástica colombiana

Precio de venta	Precio (Bs/kg)	Precio (USD/kg)
Madera de pino	3,55	0,83
Madera plástica en Venezuela	21,5	5,00
Madera plástica en Colombia	22,27	5,18
Plástico	24,19	5,63

Nota. Para una tasa de cambio de 4,3 Bolívares por dólar americano.

El precio de la madera plástica que se produzca en Venezuela se fijó en: 5,00 USD/kg en este proyecto, ubicándose entre el precio de venta de productos de madera de pino y de PEAD, además de ser inferior al precio de venta de la madera plástica colombiana. Se hace de esta manera para poder determinar la utilidad del proceso productivo, en lugar de fijar la rentabilidad para determinar el precio de venta. Es importante un precio de venta por debajo del costo de la madera plástica internacional, para que sea atractiva la inversión de producir para el mercado nacional en lugar de su importación.

4.6.2 El valor actual del proyecto a escala piloto

El valor actual (VA) es el modelo de rentabilidad en el cual se procesan todos los flujos monetarios para convertirlos en una sola cantidad de dinero en Bolívares en el presente. La vida del proyecto se estableció en 3 años para la escala de tiempo.

La capacidad de producción del proceso piloto es de 100 kg/h, sin embargo se realizó el cálculo con una capacidad promedio de 60 kg/h para la extrusora construida en Kruger – Brent, igualando la producción a las ventas, para determinar la rentabilidad del proceso a escala piloto. En la Tabla 4.23 se muestra la capacidad de producción anual.

Tabla 4.23
Capacidad del proceso de producción de madera plástica a escala piloto

Capacidad promedio:	60 kg/h
Jornada de trabajo:	8 h/día
Días laborables por mes:	23 días/mes
Meses laborables por año:	12 meses/año
Capacidad de producción anual:	132.480 kg/año

La extrusora debe encenderse y esperar un lapso de una hora para que las resistencias hagan que el cañón alcance la temperatura de trabajo (210°C – 260°C), después de esto se pueden trabajar jornadas de 10 horas o incluso de 24 horas. El mantenimiento se realiza cada dos meses y se realiza en menos de 6 horas, el cual incluye cambio de aceite a la caja reductora, limpieza de la extrusora y las demás máquinas que componen el proceso, cambio de resistencias, entre otros. El husillo posee dos resistencias por sección para evitar que el proceso se detenga en caso que una falle.

La capacidad de producción es fijada por la extrusora, por lo tanto el ingreso bruto que se puede obtener es, producción por precio de venta:

$$IB = 2.848.320 \text{ Bs/año (662.400 USD/año)}.$$

En la Figura 4.10 se muestra la escala de tiempo que representa de manera gráfica al proyecto de inversión para una mejor comprensión de los flujos monetarios.

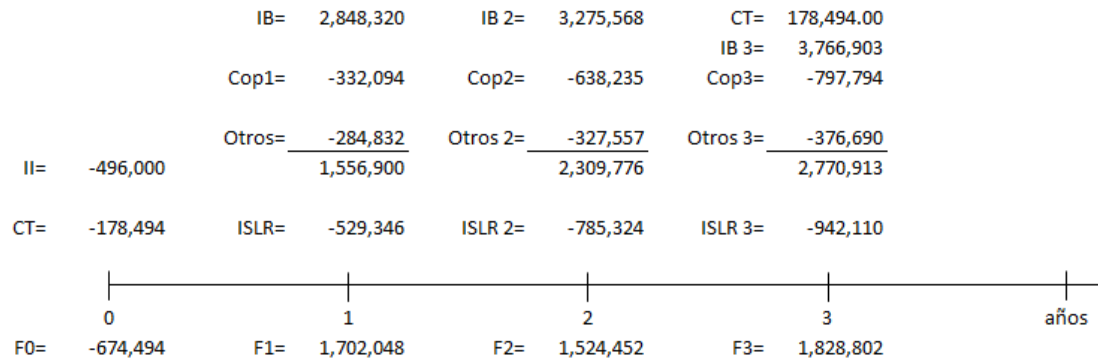


Figura 4.10 – Línea de tiempo del proyecto a escala piloto.
 Nota. Elaborado con datos mostrados en el punto G.6, del apéndice G.

De acuerdo con Giugni (1997), este proyecto de inversión se denomina convencional, ya que presenta un flujo monetario neto negativo, que representa la inversión de capital, seguido de flujos monetarios netos positivos. En el apéndice G.7 se muestra el cálculo del valor actual y la tasa interna de retorno.

El margen de utilidad es la relación entre el resultado remanente, después de descontar de las ventas, los costos, los gastos y los impuestos, es decir la utilidad neta, con las ventas o el ingreso bruto. Realizando este cálculo se obtiene un Margen de Utilidad (MU) de 36,08% para el primer año. Este resultado demuestra la rentabilidad y viabilidad de la inversión, determinado con la premisa de igualar la producción a las ventas, es decir, que se venden los 132.480 kg que es capaz de producir la extrusora en el año.

El valor actual se calculó para una tasa mínima de rendimiento del 30% para el primer año, debido a que en este periodo de tiempo, los ingresos netos del proyecto recuperan totalmente la inversión, cubren la tasa mínima de rendimiento y producen un excedente en el punto cero de la escala de tiempo. En la Tabla G.7.1 se muestra de forma explícita esta información. El valor actual es: $VA(30\%) = 634.774$ Bs.

4.6.3 La tasa interna de retorno del proyecto a la escala piloto

La tasa interna de retorno (TIR) de un proyecto expresa el beneficio neto anual que se obtiene en relación con la inversión pendiente por recuperar al comienzo de cada año. El TIR se calculó para el primer año debido a que el valor actual demostró que se recupera la inversión con excedente en este periodo. La tasa interna de retorno es: $TIR = 152,34 \%$. Este valor indica la ganancia que puede generar este proyecto, mostrado en la Tabla G.7.3.

4.6.4 Escala industrial

Para la escala industrial se usó una capacidad productiva de 200 kg/h, basados en dos extrusoras de tornillos gemelos especialmente diseñadas para producir perfiles de madera plástica, fabricadas en China, de la serie YF con una capacidad de 100 a 120 kg/h cada una, marca Shanghai Jwell Extrusion Machinery, mostrada en la

Figura 4.11, donde se aprecian los perfiles que es capaz de producir, la línea de producción y los datos técnicos.

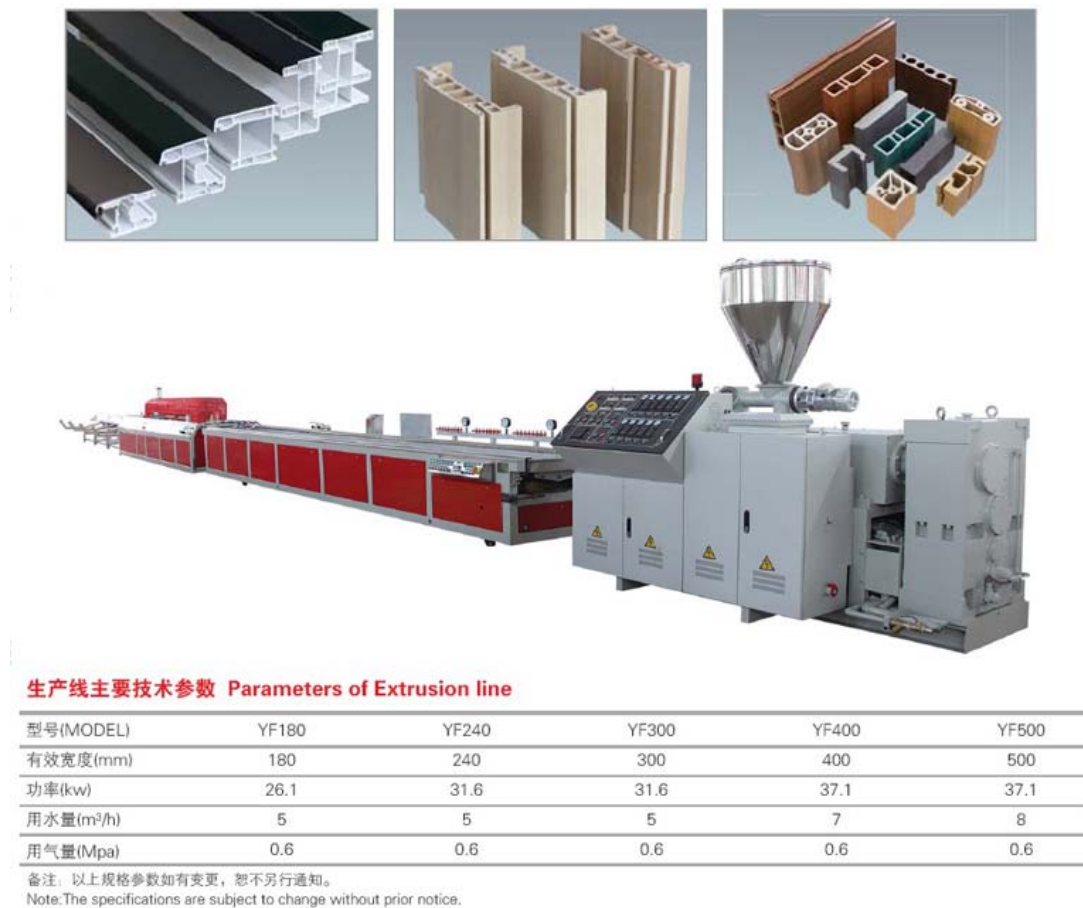


Figura 4.11 – Línea china de extrusión para perfiles de madera y plástico.
Fuente: Shanghai Jwell Extrusion Machinery, 2006

El costo de las máquinas que conforman esta línea de producción es de 300.000 USD aproximadamente, y otros 50.000 USD asociados a su traslado a Venezuela, impuestos, instalación, entrenamientos y puesta en marcha.

En la Tabla 4.24 se muestran las cifras utilizadas para determinar el valor actual y la tasa interna de retorno para el proceso a escala industrial.

Tabla 4.24
Cifras utilizadas para la evaluación de la factibilidad económica de desarrollar un proceso a escala industrial

Descripción	Valor
Dos extrusoras Jwell (350.000 USD c/u)	3.010.000 Bs.
Aumento del salario mínimo anual	25%
Plástico triturado a granel	0,6 Bs/kg
Camión 350 (Transporte)	200.000,00 Bs.
Alquiler de galpón de 2.000 m2 Zona Industrial de Carabobo	24.000 Bs/mes
Costo de la energía eléctrica	1.600 Bs/mes
Personal para producción (G.8)	540.000 Bs/año
Inflación estimada anual	25%
Inversión inicial (G.9)	3.600.000 Bs
Capital de trabajo (G.10)	804.960 Bs
Producción (200 kg/h)	441.600 kg/año
Ingreso bruto (G.11)	9.494.400 Bs
Costos operacionales (G.12)	307.200 Bs
Otros	949.400 Bs

(G.8)(G.9)(G.10)(G.11)(G.12) Véase apéndice G.

4.6.5 El valor actual del proyecto a escala industrial

En la Figura 4.12 se muestra la línea de tiempo para 3 años, con los respectivos flujos monetarios para el proyecto a escala industrial.

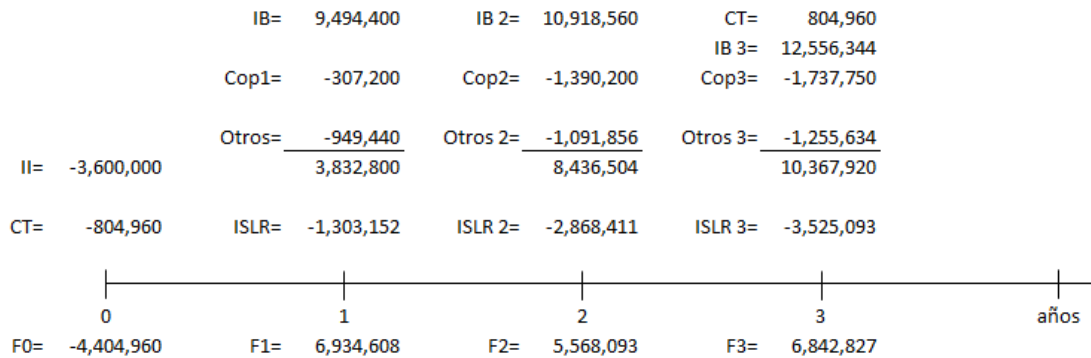


Figura 4.12 - Línea del tiempo del proyecto a escala industrial.
 Nota. Elaborado con datos mostrados en los puntos G.8 al G.12, del apéndice G.

El margen de utilidad (MU) es de 26,64% y el valor actual VA(30%) es de 929.354 Bs. Ambos determinados para el primer año debido a que el capital se recupera para este lapso de tiempo con excedente, sin necesidad de incluir el valor residual de la inversión, este cálculo se muestra en el punto G.13 del apéndice G.

La tasa mínima de rendimiento escogida del 30% se puede comparar con la tasa nominal de operaciones pasivas de los bancos la cual es del 12,5% para cuentas de ahorro en el Banco Mercantil para el año 2011, lo que se traduce para un inversionista en una oportunidad de negocio, en lugar de tener el capital generando intereses en un banco.

4.6.6 La tasa interna de retorno del proyecto a escala industrial

La tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto a escala industrial es de 57,42%. Cálculo mostrado en el punto G.14 del apéndice G. Para una configuración de producción de 200 kg/h.

Adquirir líneas de producción completamente nuevas, garantizadas y en funcionamiento, donde se incluye el adiestramiento para el personal destinado a operar el proceso en Venezuela, genera más seguridad y confianza para realizar una inversión inicial cercana a un millón de dólares. Incluso para una inversión de esta magnitud, el proyecto a escala industrial de producción de madera plástica obtiene una excelente rentabilidad desde el primer año.

Con el desarrollo de la escala piloto se mostró la capacidad técnica de producir madera plástica en Venezuela y a su vez se obtuvieron los datos necesarios para evaluar y demostrar la factibilidad financiera mediante los modelos de ingeniería económica. Partiendo de los resultados logrados en este proyecto es fácil hacer una extrapolación para determinar la capacidad productiva, de acuerdo al capital que se desee invertir. La Tabla 4.25 muestra la inversión requerida aproximada para dar el salto de la escala piloto a la escala industrial. Por ejemplo, la capacidad de producción de Maderplast en Bogotá, Colombia es de 1.000 kg/h, basados en cuatro

líneas de extrusión, mientras que el proyecto de Chile desarrollado por la Universidad de Concepción habla de 800 kg/h.

Tabla 4.25
Resumen de capacidad del proceso de producción de madera plástica versus inversión inicial

Producción (kg/h)	Producción (kg/año)	Equivalente en paletas de carga de 40 kg al año.	Capital a invertir (Bs.)	Capital a invertir aprox. (USD)
60	132.480	3.312	674.494	156.859
200	441.600	11.040	4.404.960(1)	1.024.409
800	1.766.400	44.160	(1)x4	4.097.637

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación sobre el proceso de producción de madera plástica dentro del estado Carabobo como núcleo industrial de Venezuela, finaliza mostrando indicadores de rendimiento global con resultados bastante positivos para la elaboración de este tipo de compuestos. A continuación se señalan las conclusiones y recomendaciones más relevantes:

CONCLUSIONES:

- El desarrollo del proceso a escala piloto confirmó que se puede producir madera plástica en Venezuela a partir de una mezcla de plástico reciclado y madera proveniente del desecho de aserraderos.
- La humedad presente en la materia prima trae como consecuencia una madera plástica con porosidades, se debe realizar un proceso de secado previo de la mezcla, así como también incorporar aditivos para la obtención de un producto óptimo.
- Los ensayos realizados en la Universidad de Carabobo a la madera plástica elaborada en el proceso piloto permitieron comparar propiedades físicas con

la madera plástica importada para poder afirmar con base que se alcanzó una calidad similar a la actualmente ofrecida por Maderplast en Colombia.

- La creación de una planta para producir madera plástica es rentable desde el mismo primer año de realizada la inversión, para la escala piloto y para la escala industrial analizadas, con un margen de utilidad superior a 36% y 26% respectivamente.
- Producir madera plástica con un mayor porcentaje en volumen en la mezcla de aserrín es directamente proporcional a obtener un producto más económico. Mientras que una formulación con mayor cantidad de plástico ayuda a mejorar las propiedades físicas.
- El proyecto demostró en forma cuantitativa el beneficio económico para los inversionistas y para el estado venezolano a través de la recaudación del impuesto sobre la renta, así como también para las personas que ocupen los empleos directos que se generan con el desarrollo del proceso de producción de madera plástica a escala industrial.
- La madera plástica es un material muy versátil, que se puede trabajar como la madera natural, es decir, cortar, mecanizar, atornillar, entre otros. Por lo tanto

puede sustituir a la madera en aplicaciones a la intemperie, ya que no es atacada por la humedad. Así mismo puede reemplazar piezas que actualmente son de plástico inyectado, tales como las paletas de carga, con un precio inferior.

RECOMENDACIONES:

- Invertir en la creación de una empresa para producir madera plástica a escala industrial, se sugiere para conseguir el capital necesario buscar a un grupo de inversionistas, un banco o un ente gubernamental interesado en el desarrollo y comercialización de este tipo de material.
- El cálculo de los modelos de rentabilidad económica están basados en un galpón alquilado y en capital privado, si la inversión se estima a un plazo de tiempo indeterminado, se recomienda incluir la compra de un terreno y la construcción de una planta propia de la empresa. Esto retrasaría la ejecución global del proceso, sin embargo a largo plazo es más rentable. Mientras que si se incluye capital proveniente de préstamos se deben recalcular los indicadores.
- Para el proceso de producción de madera plástica lo más importante es la máquina extrusora, por este motivo se recomienda la procura de líneas de extrusión de tornillos gemelos. Su selección va a depender de la matriz polimérica de la materia prima y la capacidad de producción deseada.

- Para obtener una mayor rentabilidad se le debe dar un valor agregado al producto, es decir, no solo comercializar los perfiles de compuestos de madera plástica tales como barras, tablas y listones, si no ofrecer productos terminados como sillas, postes, paletas de carga, entre otros.
- El proceso está en la capacidad de ser alimentado con plástico original, reciclado y una mezcla de ambos, por lo tanto se recomienda el producir varios tipos de calidades para penetrar en un mercado más amplio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASERRADERO SUR DE CHAGUARAMAS. (2008). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.aserraderosurchaguaramas.com.ve/generalidades.php> [Consulta: 2011, Marzo 28]
- ASTM INTERNATIONAL (2011). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.astm.org/> [Consulta: 2011, Abril 26]
- BARRIOS. (2006). **Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales**. 4ª edición. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.
- BERGEN INTERNATIONAL. (2008). [Página web en Línea]. Disponible: <http://bergeninternational.com/html/TiposPro.htm> [Consulta: 2011, Marzo 28]
- BG PLAST. (2006). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.bgplast.it/> [Consulta: 2011, Marzo 29]
- CEBALLOS, J. (2004). **Desarrollo de un módulo de cálculo compatible con un simulador para la evaluación económica de un proceso**. Tesis de maestría no publicada, Universidad de Carabobo, Valencia.
- COSTA, CERVERA, CUNILL, ESPLUGAS, MANS Y MATA. (1991). **Ingeniería química, introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte**. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- DELGADO OSCAR, J. MEDINA. (2003). **Extrusión de perfiles espumados de madera plástica**. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Colombia.
- ECO SOLUTION A.S. (2004). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.ecosolution.cz/> [Consulta: 2008, Julio 20]
- EMPAQUES PLASTICOS DE MEXICO S.A. DE C.V. (2005). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.empaquesplasticos.com.mx/default.htm> [Consulta: 2008, Julio 20]
- FABRICADOS FZ. (2011). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.fabricadosfz.com/V3/RepuestosMolineria.htm> [Consulta: 2011, Abril 5]

- FLÓREZ. (2007). **Madera y plástico, ¿Cuál es el futuro?** [Documento en línea]. Disponible: www.plastico.com [Consulta: 2011, Marzo 29]
- GIUGNI de A., ETTEGUI de B., GONZÁLEZ de S., GUERRA, V. (1997). **Evaluación de proyectos de inversión.** Universidad de Carabobo. Segunda Edición. Valencia, Venezuela.
- GREENPLAST. (2004). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.greenplast.cl/html/productos.htm> [Consulta: 2011, Marzo 29]
- JIMÉNEZ. (2005). **La fuerza de la madera en los plásticos. Una combinación ganadora.** [Documento en línea]. Disponible: www.plastico.com [Consulta: 2008, Julio 10]
- KRUGER BRENT, C.A. (2006). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.kruger1.com/> [Consulta: 2011, Abril 26]
- MADERPLAST. (2007). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.maderplast.com/> [Consulta: 2011, Marzo 29]
- MADRID, P. (2009). **Evaluación económico-ambiental de un sistema de osmosis inversa para la fuente de vapor en la fabricación de aceites comestibles.** Tesis de maestría no publicada, Universidad de Carabobo, Valencia.
- MINCI (2009, Abril 24). [Maderas sintéticas para satisfacer las necesidades del colectivo] [Página web en Línea]. Disponible: http://www.minci.gob.ve/noticias_-_prensa/28/188684/maderas_sinteticas_para.html [Consulta: 2011, Marzo 26]
- MINK W. (1991). **El plástico en la industria, tratado práctico.** Ediciones G. Gili. México.
- NEWTECHWOOD. (2007). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.newtechwood.com/> [Consulta: 2011, Marzo 29]
- PEQUIVEN (2007, Noviembre). [Comunicaciones] [Página web en Línea]. Disponible: http://www.pequiven.com/pqv_new/pdf/Boletin_52.pdf [Consulta: 2011, Marzo 26]
- POLYMER TESTING LAB. (2009). [Página web en Línea]. Disponible: <http://polymertestinglab.com/> [Consulta: 2011, Abril 4]

- RAMOS (2007). **Extrusión de plásticos, principios básicos**. Coahuila, México.
- RECICLA PLASTICO. (2009). [Página web en Línea]. Disponible: <http://reciclaplastico443.blogspot.com/> [Consulta: 2011, Abril 4]
- REXCO. (2006). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.rexcointernacional.com/> [Consulta: 2011, Marzo 28]
- RODRIGUEZ, BROTO Y LIZARRALDE. (2006). Densidad normal de la madera de las principales especies forestales. [Documento en línea]. Disponible: http://www.cesefor.com/cubifor/descargas/Densidad_Madera.pdf [Consulta: 2011, Marzo 28]
- ROWELL, ROGER M. (2006). **Advances and challenges of wood polymer composites**. Forest Research Institute Malaysia.
- SHANGHAI JWELL EXTRUSION MACHINERY CO., LTD. (2006). [Página web en Línea]. Disponible: <http://www.jwell-extruder.com/en/profile.html> [Consulta: 2011, Abril 26]
- SERRANO. (2004). **La madera: ¿Una resina más?** [Documento en línea]. Disponible: www.plastico.com [Consulta: 2008, Julio 10]
- TAMAYO, M. (2004). **El proceso de la investigación científica**. 4a. ed. México.
- WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011A). **Compuesto de madera y plástico**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Compuesto_de_madera_y_pl%C3%A1stico [Consulta: 2011, Marzo 24]
- WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011B). **Economía de Venezuela**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_de_Venezuela#cite_note-45 [Consulta: 2011, Abril 26]
- WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011C). **Etileno**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Etileno> [Consulta: 2011, Marzo 29]
- WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011D). **Madera**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Madera> [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011E). **Plástico**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico> [Consulta: 2011, Marzo 24]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011F). **Plásticos reforzados con fibras**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1sticos_reforzados_con_fibras [Consulta: 2011, Marzo 29]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011G). **Policarbonato**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Policarbonato> [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011H). **Policloruro de vinilo**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro_de_vinilo [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011I). **Poliestireno**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno> [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011J). **Polietileno**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno> [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011K). **Polietileno de alta densidad**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_alta_densidad [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011L). **Polietileno de baja densidad**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_baja_densidad [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011M). **Polipropileno**. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno> [Consulta: 2011, Marzo 28]

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. (2011N). **Tereftalato de polietileno**. [Página Web en Línea]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno [Consulta: 2011, Marzo 28]

APÉNDICES

Apéndice A: Tabla A.1 - D.S.I. (Desarrollo sistemático de la investigación)

OBJETIVO ESPECÍFICO	METODOLOGÍA	ACTIVIDADES
Estudiar el tipo de plástico, madera y aditivos que se requieren en la mezcla para producir madera plástica.	Aplicación de una investigación descriptiva, para exponer el proceso de producción de madera plástica.	1.1 Investigación relacionada a la producción de madera plástica. 1.2 Selección del tipo de plástico idóneo para el estudio. Según: 1.2.1 Costo 1.2.2 Abundancia 1.3 Determinar el proceso más sencillo para producir madera plástica.
Adaptar la materia prima nacional para obtener madera plástica.	Investigación de materias primas y sus proveedores en Venezuela para la producción de madera plástica.	2.1 Determinación de proveedores de las materias primas necesarias. 2.2 Investigación de formas y tamaños en las que se encuentran las materias primas. 2.3 Adaptar las materias primas al proceso que se desea obtener.
Diseñar un dispositivo capaz de producir madera plástica con elementos de procura nacional.	Aplicación de métodos de diseño de elementos de máquinas para obtener un dispositivo.	3.1 Investigación de las máquinas que se requieren para la producción de madera plástica. 3.2 Selección y análisis del conjunto de elementos que mejor se adapte al proceso que se desea obtener. 3.3 Diseño de los elementos que conformarán la máquina a desarrollar con materiales y equipos de fácil adquisición nacional.

<p>Producir un prototipo de madera plástica a través del proceso diseñado con las materias primas previamente seleccionadas.</p>	<p>Aplicación de métodos prácticos de producción, de acuerdo a lo reportado en referencias especializadas en el tema.</p>	<p>4.1 Verificación de la disponibilidad de los recursos necesarios para producir el prototipo, como lo son, materia prima, máquinas, personal, entre otros.</p> <p>4.2 Elaboración de la puesta a punto del proceso piloto.</p> <p>4.3 Producción de una cantidad de muestras cambiando la proporción de plástico nacional en madera nacional, como se indica: (75% Plástico – 25% Madera)(v/v) (60% Plástico – 40% Madera) (v/v) (50% Plástico – 50% Madera) (v/v)</p> <p>4.4 Elaboración de ensayos mecánicos a cada muestra de diferente formulación para la escogencia de la mejor, la cual llamaremos prototipo.</p>
<p>Comparar el prototipo de madera plástica obtenido con producto importado mediante ensayos físicos.</p>	<p>Medición de parámetros físicos, mediante la aplicación de ensayos de laboratorio.</p>	<p>5.1 Adquisición de muestras de madera plástica que se comercializan en el exterior.</p> <p>5.2 Evaluación del prototipo seleccionado, obtenido en nuestro proceso.</p> <p>5.3 Comparación de ambas muestras, mediante ensayos físicos y mecánicos de forma simultánea.</p> <p>5.4 Conclusión de la etapa comparativa, para demostrar si el prototipo obtenido es igual o similar en cuanto a sus características, al importado.</p>

<p>Estudiar la Factibilidad de desarrollar un proceso productivo de madera plástica en el estado Carabobo, Venezuela.</p>	<p>Aplicación de métodos de análisis económicos y comparación de características físico-químicas obtenidas, para determinar la viabilidad de desarrollar este proyecto en el estado Carabobo, Venezuela.</p>	<p>6.1 Recopilación de la información generada durante la investigación. 6.2 Selección de los métodos para determinar la factibilidad técnica y económica de desarrollar este proceso en Venezuela; tales como cálculo de: tasa interna de retorno, valor actual, entre otros. 6.3 Aplicación de los métodos de análisis técnicos y económicos, a fin de determinar la factibilidad del proyecto.</p>
---	--	---

Apéndice B:

Figuras



Figura B.1 – Gránulos o pellets de plástico.
Fuente: Greenplast, 2004

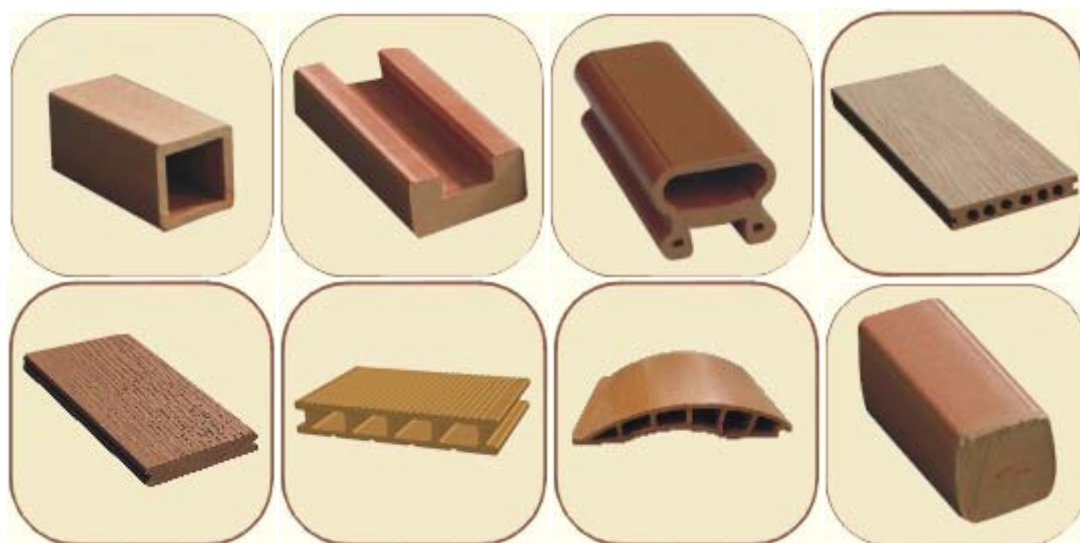


Figura B.2 – Perfiles extruidos de madera plástica.
Fuente: Newtechwood, 2007



Figura B.3 – Paletas de carga (Pallet). Producto terminado de madera plástica.
Fuente: Newtechwood, 2007

Figuras



Figura B.4 – Productos terminados de madera plástica. Paletas, muelles, terrazas, barandas, pisos y piezas de muebles.

Fuente: Greenplast, 2004

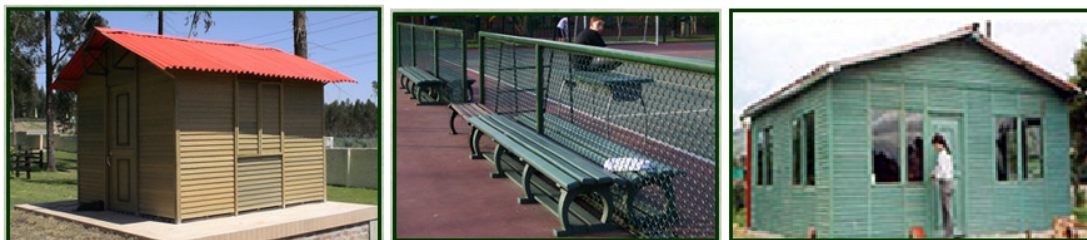


Figura B.5 – Productos terminados de madera plástica ideal para usos exteriores.

Kioscos, casetas, puertas, ventanas, sillas y bancos.

Fuente: Maderplast, 2007

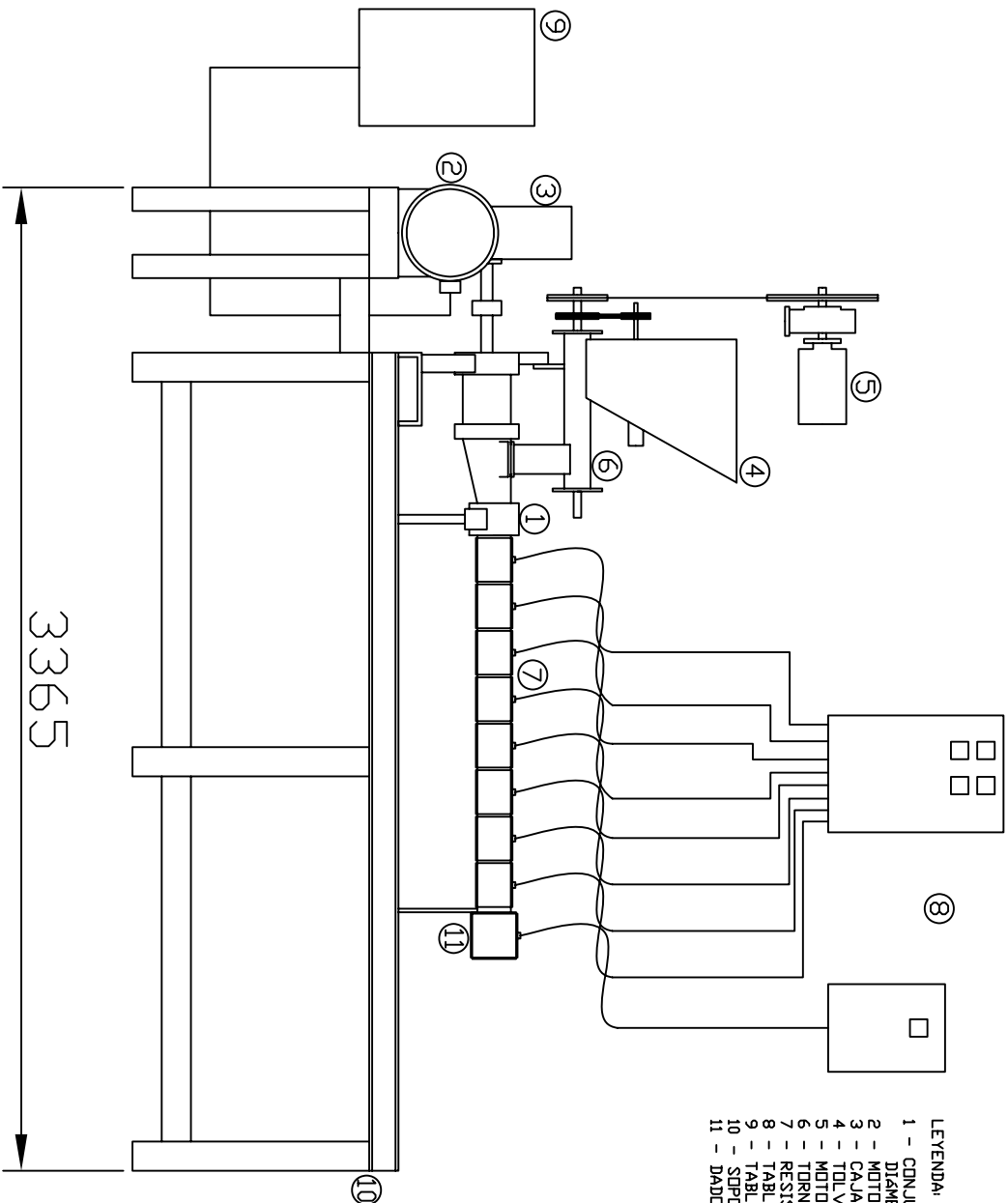


Figura B.6 – Plástico tipo pelusa de diferentes colores.

Fuente: Polymer testing lab, 2009

Apéndice C:

Plano KB-MP-01: Esquema de máquina extrusora fabricada en Kruger – Brent, Valencia, Venezuela



- LEYENDA:
- 1 - CONJUNTO CARGA Y TORNILLO
DIAMETRO 65mm RELACION 20:1
 - 2 - MOTOR ELECTRICO 30 HP
 - 3 - CAJA REDUCTORA RELACION 10:1
 - 4 - TOLVA EN ACERO INOXIDABLE
 - 5 - MOTOR ELECTRICO 1 HP
 - 6 - TORNILLO DISTRIBUIDOR
 - 7 - RESISTENCIAS
 - 8 - TABLEROS CONTROL ADRES
 - 9 - TABLEROS VARIADOR DE FRECUENCIA
 - 10 - SOPORTES PERFIL DE ACERO
 - 11 - DADO D CABEZAL

EXTRUSORA PARA MADERA PLASTICA

ESC : 1:25

A TODAS LAS MEDIDAS
ESTAN DADAS EN MILIMETROS
A MENOS QUE SE INDIQUE
LO CONTRARIO.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			



DESARROLLO DE UN PROCESO PILOTO
DE PRODUCCION DE MADERA
PLASTICA EN EL ESTADO CARABOBO

EXTRUSORA PARA MADERA PLASTICA
ESMA PILOTO

EXTRUSORA PARA MADERA PLASTICA
ESMA PILOTO

KB-MP-01 1:25

Apéndice D:

Zonas de temperatura recomendables para la elaboración de PEAD

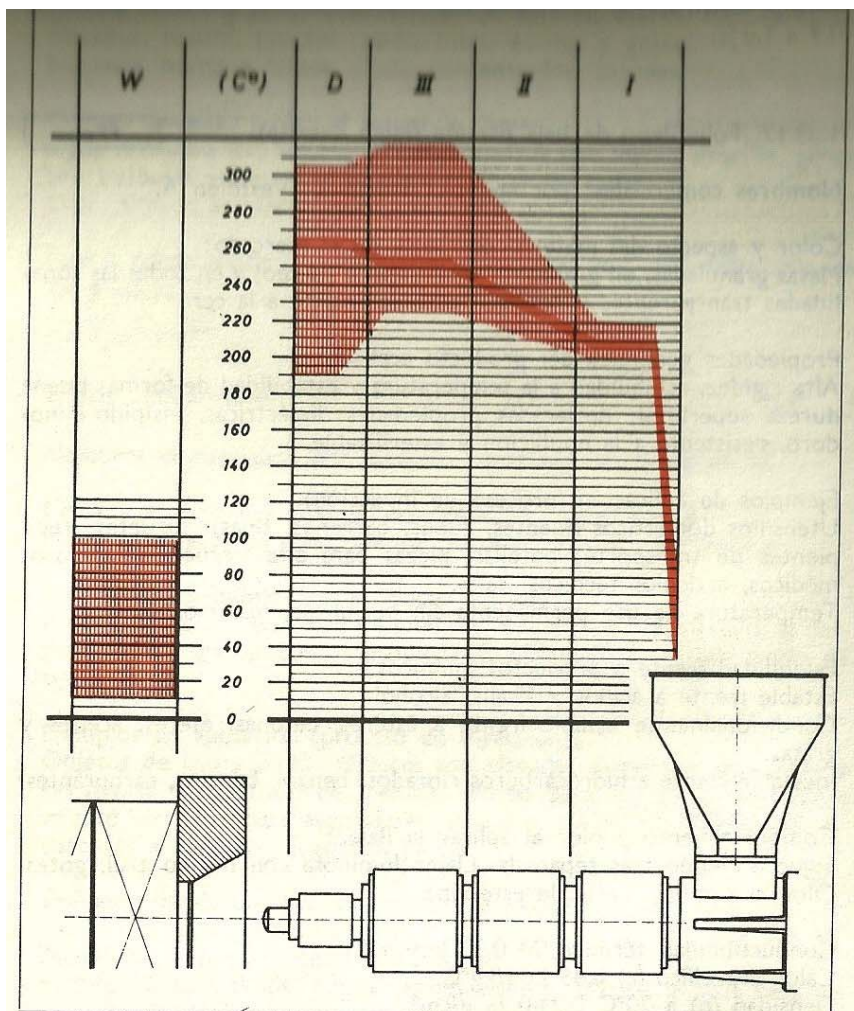


Lámina 13. Zonas de temperatura recomendables para la elaboración de polietileno de baja presión rígido (PEHD).

Las zonas de este diagrama se establecieron de acuerdo con conocidos fabricantes de estos materiales, pero hay que tener en cuenta que precisamente en el proceso de inyección se hace notable la influencia de otras magnitudes (configuración y dimensiones de la pieza, estructura del molde, sistema de llenado, geometría del husillo de la unidad de plastificación, sistema de accionamiento de la máquina, etc.).

Figura D.1 – Zonas de temperatura recomendable para la elaboración de PEAD.
Fuente: Mink, 1991

Zonas de temperatura recomendables para la elaboración de PEBD

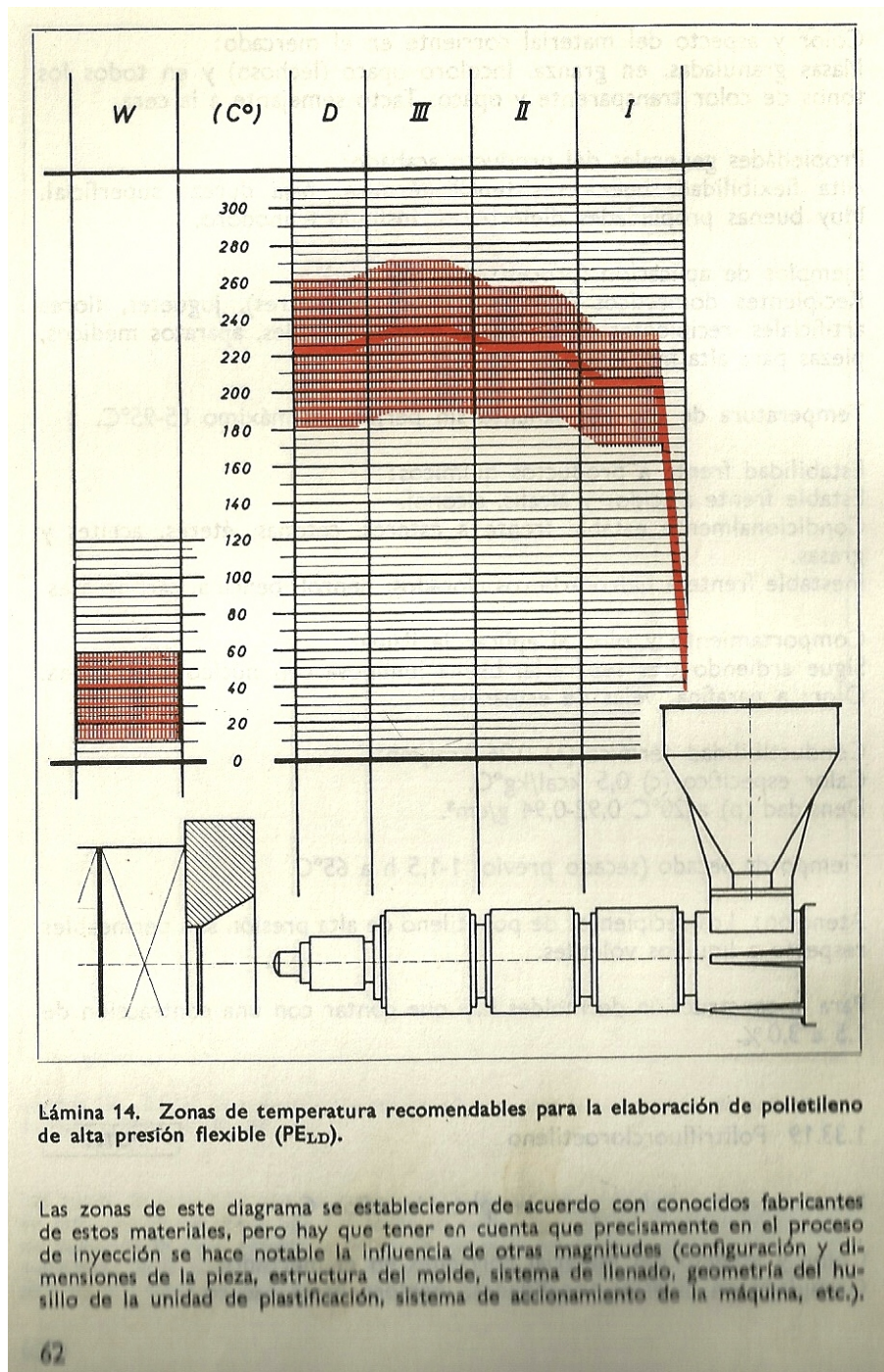



Figura D.2 – Zonas de temperatura recomendable para la elaboración de PEBD.

Fuente: Mink, 1991


Apéndice E:

Maderplast. Informes de ensayos realizados a madera plástica producida en Colombia y Hoja técnica

Ensayo de compresión



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros
CIPP



INFORME DE PRUEBA DE COMPRESION EN MATERIALES PLÁSTICOS


Informe No: 4174-740

Ensayo realizado para: MADERPLAST LTDA
Cra 21 No 12A-33 Bogotá D.C.

Fecha de Recepción: 13/05/2004
Fecha de Ensayo: 16/05/2004
Fecha de Informe: 16/05/2004

Identificación de la muestra: Viga plástica

Descripción de la muestra: Perfil de plástico color verde

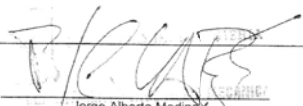
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Norma Técnica de referencia:	ASTM D695 "Compressive Properties of Rigid Plastics"		
Velocidad Ensayo (mm/min):	1,6	Humedad relativa (%):	52
Longitud efectiva (mm):	201	Temp. ambiente (°C):	23
Cálculo de Fluencia (%):	-	Celda de Carga (kN):	300
Distancia entre placas (mm):	201	Equipo:	Máquina Universal Instron 5586
Tipo de probeta y dimensiones:			
		Prisma	
		A (mm) : 64,3	
		B (mm) : 63,6	
		H (mm) : 201	
Forma de preparación de las probetas:	vacías en molde		
Periodo de acondicionamiento previo (h):	2		

RESULTADOS			
Probeta	Esfuerzo máximo (MPa)	Deformación a fluencia (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	16,4	15,6	453
2	15,9	14,0	475
3	16,6	15,4	477
4	16,0	13,8	470
5	15,7	14,4	464
Promedio	16,1	14,6	468
Desv estándar	0,4	0,8	10
Coef de Var. (%)	2,3	5,5	2
Incertidumbre (95% de confiabilidad)	0,0	0,0	16

OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Cordialmente:



Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboquerrero
Director Calidad

Ensayo acreditado bajo ISO 17025, según resolución 38443 del 28 de Nov. de 2002.
Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad.
Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, periodo después del cual serán desechadas.

CENRO DE INNOVACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO - CITEC
Carrera 65B No. 17A-11 Teléfonos: (57-1) 4055831 - 4055810 Fax: 4055862 e-mail:cipp@uniandes.edu.co http://cipp.uniandes.edu.co
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA Impreso: 17/05/2004

Figura E.1 – Prueba de compresión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad de los Andes.
Fuente: Maderplast, 2008

Ensayo de compresión



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL DE MADERAS PLÁSTICAS

DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO UNITARIO BÁSICO A LA COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO NTC 1011

ORDEN DE TRABAJO No. PTG 1-05-E-07 REFERENCIA: Proyecto Trabajo de Grado
 SOLICITANTE: HMO OBRA O EMPRESA: Maderplast
 FECHA: viernes 18 de Marzo de 2005 EJECUTANTE: PR, JL, JO & JRM

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: Varias secciones muestras de la 1 a la 20

EQUIPO MAQUINA DE ENSAYO FORNEY RECIBIDO POR: JL
 CALIBRADOR FECHA: 17 de febrero

ENSAYO Y RESULTADOS

N° IDENTIFICACION DEL ESPECIMEN	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA MÁXIMA COMPRESIÓN (kgf/cm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA COMPRESIÓN (N/cm ²)	ENSAYO DE COMPRESIÓN CON CARGA EN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMPRESIÓN (N/cm ²)	FACTOR DE AJUSTE	ESFUERZO UNITARIO BÁSICO COMPRESIÓN (N/cm ²)	ESFUERZO UNITARIO BÁSICO COMPRESIÓN (kgf/cm ²)	ESFUERZO UNITARIO BÁSICO COMPRESIÓN (Mpa)	ESFUERZO UNITARIO BÁSICO COMPRESIÓN (psi)
	18-Mar	263,4	2583,1	LA CARA DE LA MUESTRA	38,80	1,40	1.780	181,5	17,8	2.582

Nota: El muestreo estuvo a cargo del solicitante

La determinación del esfuerzo unitario básico para el cizallamiento paralelo al grano se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{R_c - 2.33 S_{Rc}}{1.4}$$

Donde

σ_c = Esfuerzo unitario básico a la compresión paralela al grano en N/cm²

R_c = Esfuerzo máximo promedio a la compresión en N/cm²

S_{Rc} = Desviación estándar de la resistencia máxima a la compresión

1,40 = Valor que incorpora un factor para ajustar el valor de resistencia mínima probable a una duración prolongada de carga y un coeficiente de seguridad

Ingeniero José Ricardo Martínez V.
 Coordinador del Trabajo de Grado

Figura E.2 – Ensayo de compresión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Maderplast, 2008

Ensayo de flexión



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
CENTRO DE INVESTIGACION EN PROCESAMIENTO DE POLIMEROS
CIPP



INFORME DE PRUEBA DE FLEXIÓN

Informe No: 4174-739

Ensayo realizado para: MADERPLAST LTDA
Cra 21 No 12A-33 Bogotá D.C.

(dd/mm/aa)
Fecha de Recepción: 13/09/2004
Fecha de Ensayo: 16/09/2004
Fecha de Informe: 16/09/2004

Identificación de la muestra: Viga plástica

Descripción de la muestra: Perfil de plástico color verde

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Norma Técnica de referencia:	NTC 1769 (1982) Plásticos. Materiales aislantes eléctricos determinación de las propiedades de flexión.		
Método de la norma empleado:	B	Periodo de acondicionamiento (h):	2
Velocidad del ensayo (mm/min):	16,1	Humedad relativa (%):	52
Longitud Entre Apoyos L.E.A. (mm):	790	Temperatura ambiente (°C):	23
Ancho nominal de la probeta (mm):	64,5	Celda de Carga (kN):	300
Espesor nominal de la probeta (mm):	64,5	Equipo:	Máquina Universal Instron 5586
Relación L.E.A./espesor:	12,2	Dirección del ensayo:	Longitudinal (X) Transversal ()
Radio de los apoyos (mm):	2		
Radio de la punta de carga (mm):	76		
Método de preparación de las probetas:	tal como se recibieron del cliente		

RESULTADOS							
Probeta	Espesor probeta (mm)	Ancho probeta (mm)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación en esfuerzo máximo (%)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)
1	64,65	64,50	4,143	18,2	730	4,59	18,2
2	64,65	64,35	4,310	19,1	699	5,11	19,1
Promedio	64,65	64,43	4,227	18,6	715	4,85	18,6
Desv. Estd.	0,00	0,11	0,118	0,6	22	0,37	0,6
Coef de Var (%)	0,0	0,2	2,8	3,1	3	7,7	3,1
Incertidumbre (95% de	0,025	0,025	0,042	0,19	7	0,001	0,19

OBSERVACIONES	
Comportamiento antes del 5% de la deformación:	rotura
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	

Cordialmente:

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Ensayo acreditado bajo ISO 17025, según resolución 38443 del 28 de Nov. de 2002.
Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad.
Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, periodo después del cual serán desechadas.

Figura E.3 – Prueba de flexión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad de los Andes.
Fuente: Maderplast, 2008

Ensayo de flexión



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
Sede Bogotá
Facultad de Ingeniería

IEI INSTITUTO DE ENSAYOS
E INVESTIGACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE ESTRUCTURAS

ENSAYO DE FLEXIÓN DE MADERAS PLASTICAS DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO UNITARIO BASICO A LA FLEXIÓN

NTC 1011

ORDEN DE TRABAJO No. PTG 1-05-E-07 REFERENCIA: Proyecto Trabajo de Grado
SOLICITANTE: HMO OBRA O EMPRESA: Maderplast
FECHA: viernes 18 de Marzo de 2005 EJECUTANTE: PR, JL, JO & JRM

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : Varias secciones muestras de la 1 a la 20

EQUIPO
MAQUINA DE ENSAYO FORNEY RECIBIDO POR: JL
CALIBRADOR FECHA: 17 de febrero

ENSAYO Y RESULTADOS

N° IDENTIFICACION DEL ESPECIMEN	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA MÁXIMA FLEXIÓN (kgf/cm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA FLEXIÓN (N/cm ²)	ENSAYO DE FLEXIÓN CON CARGA EN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR FLEXIÓN (N/cm ²) ²	FACTOR DE AJUSTE	ESFUERZO UNITARIO BASICO FLEXIÓN (N/cm ²)	ESFUERZO UNITARIO BASICO FLEXIÓN (kgf/cm ²)	ESFUERZO UNITARIO BASICO FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO UNITARIO BASICO FLEXIÓN (psi)
	18-Mar	195,4	1916,2	EN EL CENTRO DE LA LUZ	65,83	2,25	783	79,9	7,8	1.136

Nota: El muestreo estuvo a cargo del solicitante

La determinación del esfuerzo unitario básico para el cizallamiento paralelo al grano se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_F = \frac{R_F - 2.33S_{RF}}{2.25}$$

Donde

σ_F = Esfuerzo unitario básico a la flexión en N/cm²

R_F = Esfuerzo máximo promedio a la flexión en N/cm²

S_{RF} = Desviación estándar de la resistencia máxima a la flexión en N/cm²

2,25 = Valor que incorpora un factor para ajustar el valor de resistencia mínima probable a una duración prolongada de carga y un coeficiente de seguridad

Ingeniero José Ricardo Martínez V
Coordinador del Trabajo de Grado

Figura E.4 – Ensayo de flexión a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Maderplast, 2008

Ensayo de densidad



ENSAYO DE DENSIDADES DE MADERAS PLASTICAS

ORDEN DE TRABAJO No. PTG 1-05-E-07 REFERENCIA: Proyecto Trabajo de Grado
 SOLICITANTE: HMO OBRA O EMPRESA: Maderplast
 FECHA: Lunes 28 de Febrero de 2005 EJECUTANTE: PR, JL, JO & JRM

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : LAS VIGAS SON DE DIFERENTES SECCIONES PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL

EQUIPO RECIBIDO POR: JL
 MAQUINA DE ENSAYO Balanza de precisión SARTRE FECHA: 17 de febrero
 CALIBRADOR

ENSAYO Y RESULTADOS

Nº IDENTIFICACION DEL ESPECIMEN	FECHA DE ENSAYO	SECCIÓN (cm)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (g)	PESO (Kg)	DENSIDAD DEL MATERIAL (g/cm ³)	DENSIDAD DEL MATERIAL (kg/m ³)
295	28-Feb	4,5*4,5	41,92	4,51	4,50	720,56	0,721	0,847	847
296	28-Feb	4,5*4,5	41,94	4,52	4,51	721,54	0,722	0,844	844
297	28-Feb	4,5*4,5	41,91	4,51	4,49	720,41	0,720	0,849	849
298	28-Feb	3,5*3,5	41,92	3,50	3,52	435,05	0,435	0,842	842
299	28-Feb	3,5*3,5	41,91	3,50	3,51	437,45	0,437	0,850	850
300	28-Feb	3,5*3,5	41,89	3,51	3,50	436,51	0,437	0,848	848
301	28-Feb	3,5*9,5	36,54	3,50	9,49	809,69	0,810	0,667	667
302	28-Feb	3,5*9,5	36,60	3,50	9,51	948,16	0,948	0,778	778
303	28-Feb	3,5*9,5	36,57	3,51	9,50	959,87	0,960	0,787	787
304	28-Feb	4,0*8,5	37,89	3,98	8,51	1,055,45	1,055	0,822	822
305	28-Feb	4,0*8,5	37,92	4,01	8,51	933,36	0,933	0,721	721
306	28-Feb	4,0*8,5	37,90	4,02	8,50	1,041,28	1,041	0,804	804
Promedio								0,805	805

Nota: El muestreo estuvo a cargo del solicitante

Ingeniero José Ricardo Martínez V
 Coordinador del Trabajo de Grado

Figura E.5 – Ensayo de densidades a madera plástica de Maderplast, realizado por la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Maderplast, 2008

Madera plástica colombiana – Información técnica



MADERPLAST S.A

MADERAS PLASTICAS Y ESTRUCTURAS PLASTICAS

ESTIBAS PLASTICAS, POSTES PLASTICOS Y PISOS PLASTICOS

CRA. 21 No. 12 A - 33 Piso 2 TELEFONOS: 351 89 15 / 16 – 408 50 23
FAX 360 04 84 PBX: 408 52 52 – 408 50 49 BOGOTA

www.maderplast.com

E-mail: maderplast@hotmail.com maderplast@maderplast.com

INFORMACIÓN TÉCNICA

CARACTERÍSTICAS

- *Alta resistencia al impacto.
- *Excelente procesabilidad y rigidez.
- *Distribución del peso molecular moderadamente amplia.
- *Buen brillo.

PROPIEDADES FÍSICAS

PROPIEDAD	UNIDADES TRADICIONALES	UNIDADES SI	METODO ASTM
Índice de fluidez (230° C-2.16Kg).	0,7 g/10 min.	0.7 g/10 min.	D 1233
Resistencia máxima a la tracción (50mm/min)	3500 psi	24 Mpa	D 638 @
Blongación al punto de cedencia	10%	10%	D 638 @
Módulo de flexión 1% sec. (1.3 mm / min.).	135000 psi	930 Mpa	D 790 @
Impacto Izod con muesca (73° F/23°C)	13 ft-lb/in	694 J/m	D 256 @
Impacto Izod con muesca (0°F/18°C)	2,2f t-lb7in	117 J/m	D 256 @
Impacto Gardner (22°F/-30°C)	220 in-lb	25 J	D 3029
Dureza Rockwell "R"	R 60	R 60	D 785
Temp. Deformación térmica (66psi/455kPa)	194°F	90°C	D 648
Temperatura de ablandamiento Vicat	279°F	137°C	D 1525 B
Temperatura de Fusión	325°F	163° C	D 8428

REFERENCIAS:

ESTADOS UNIDOS. De acuerdo al numeral 177.1520 (c) 3.1 del CFR título 21 de la FDA para estar en contacto con alimentos pero con limitaciones. Artículos contruidos con este material no pueden ser utilizados para mantener alimentos durante su cocimiento.

COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. De acuerdo a la Directiva de la Comisión Europea para estar en contacto con alimentos 90/128/CEE (1990), 92/39/CEE (1992), y 93/9/CEE (1993), sección A.

ALEMANIA. De acuerdo a la Directiva de las autoridades alemanas para estar en contacto con alimentos.

Estos productos son fabricados en polipropileno de alto impacto recomendado para el contacto con alimentos, medicamentos y cumple con la norma FDA, son esterilizables, no se pudren, ni se rajan, no absorben humedad, ni contaminaciones, no generan bacterias, ni roedores; resistentes a la intemperie, ácidos y ecológicos. Con productos de madera plástica MADERPLAST su empresa está colaborando para que no talen más bosques. COLORES DISPONIBLES: VERDE y a solicitud del cliente

Figura E.6 – Información técnica de madera plástica de Maderplast.

Fuente: Maderplast, 2008

Maderplast: Información de venta de madera plástica colombiana

MADERPLAST S.A.
 CRA 21 # 12 A 33 TELS (57+1) 408-52-52 351-89-15 3518916 FAX 3600-484 MOVIL 3164647099 // 3164647041
 BOGOTA COLOMBIA SUR AMERICA
 Email: maderplast@hotmail.com // maderplast@maderplast.com - WEB www.maderplast.com
 LISTA DE PRECIOS PRODUCTOS PLASTICO
 Vigencia Agosto 2008

PRODUCTO	en centímetros			VERDE	GRIS	NEGRO
	ANCHO	GROSOR	UNIDAD	Precio metro Alto impacto	Precio metro medio impacto	Precio metro reciclado
MADERAS PLASTICAS RECTANGULARES						
VIGA PLASTICA	21	8	1 mt	\$ 159.248	\$ 127.399	\$ 43.953
VIGA PLASTICA	13	5	1 mt	\$ 61.460	\$ 49.168	\$ 16.963
VIGA PLASTICA	16	5	1 mt	\$ 80.369	\$ 64.295	\$ 22.192
VIGA PLASTICA	11	5	1 mt	\$ 54.239	\$ 43.391	\$ 14.970
PARAL O REPIZA PLASTICA	10	3	1 mt	\$ 29.621	\$ 23.697	\$ 8.175
PARAL O REPIZA PLASTICA	8	4	1 mt	\$ 30.910	\$ 24.728	\$ 8.531
LISTON PLASTICO	4,5	2,5	1 mt	\$ 11.108	\$ 8.886	\$ 3.066
POSTE TRIANGULAR	7	7	2 mt	\$ 24.190	\$ 19.352	\$ 6.676
MADERAS PLASTICAS CUADRADAS						
POSTE PLASTICO	10	10	1 mt	\$ 93.555	\$ 74.844	\$ 25.821
POSTE PLASTICO	8,2	8,2	1 mt	\$ 64.130	\$ 51.304	\$ 17.700
POSTE PLASTICO	7	7	1 mt	\$ 38.060	\$ 30.448	\$ 10.505
POSTE PLASTICO	3,5	3,5	1 mt	\$ 11.858	\$ 9.486	\$ 3.273
POSTE PLASTICO	2,5	2,5	1 mt	\$ 6.118	\$ 4.895	\$ 1.689
POSTE PLASTICO	2	2	1 mt	\$ 4.547	\$ 3.638	\$ 1.255
POSTE PLASTICO	4,5	4,5	1 mt	\$ 19.778	\$ 15.822	\$ 5.459
MADERA PLASTICA EN TABLA O VARETA						
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	3	1 mt	\$ 24.684	\$ 19.747	\$ 6.813
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	2,5	1 mt	\$ 23.988	\$ 19.191	\$ 6.621
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	2	1 mt	\$ 18.944	\$ 15.155	\$ 5.228
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	1,5	1 mt	\$ 12.342	\$ 9.874	\$ 3.406
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	1	1 mt	\$ 9.472	\$ 7.578	\$ 2.614
TABLAS O VARETA PLASTICA	9,5	0,5	1 mt	\$ 4.798	\$ 3.838	\$ 1.324
MADERAS PLASTICAS REDONDAS						
POSTE PLASTICO REDONDO	10	Diametro	1 mt	\$ 70.887	\$ 56.709	\$ 19.565
POSTE PLASTICO REDONDO	7	Diametro	1 mt	\$ 35.817	\$ 28.654	\$ 9.886
POSTE PLASTICO REDONDO	6	Diametro	1 mt	\$ 26.313	\$ 21.051	\$ 7.262
POSTE PLASTICO REDONDO	4,1	Diametro	1 mt	\$ 12.458	\$ 9.966	\$ 3.438
POSTE PLASTICO REDONDO	3,5	Diametro	1 mt	\$ 8.683	\$ 6.946	\$ 2.396
POSTE PLASTICO REDONDO	2	Diametro	1 mt	\$ 3.254	\$ 2.603	\$ 898
POSTE PLASTICO REDONDO	2,7	Diametro	1 mt	\$ 5.898	\$ 4.559	\$ 1.573
TRIPLEX PLASTICO						
			GROSOR	Precio metro Alto impacto	Precio metro veta madera	
TRIPLEX PLASTICO BLANCO	3mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 78.083	0	
TRIPLEX PLASTICO BLANCO	4 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 97.300	0	
TRIPLEX PLASTICO BLANCO	5 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 113.668	-	
TRIPLEX PLASTICO VERDE	3mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 53.363	\$ 73.374	
TRIPLEX PLASTICO VERDE	4 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 71.150	\$ 92.940	
TRIPLEX PLASTICO VERDE	5 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 88.938	\$ 112.507	
TRIPLEX PLASTICO VERDE	7 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 124.513	\$ 151.639	
TRIPLEX PLASTICO VERDE	9 mm	1x1 mt	1 mt2	\$ 160.089	\$ 190.772	
				\$ -	\$ -	

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 16% DE IVA

ALTO IMPACTO GARANTIA 5 AÑOS
 MEDIO IMPACTO GARANTIA 1 AÑO
 BAJO IMPACTO SIN GARANTIA
 MERCANCIA PUESTA EN BOGOTA

ESTOS PRODUCTOS SON 100% RECICLABLES
 Y SE ELABORAN A LA MEDIDA QUE DESEE

Figura E.7 – Información de venta de madera plástica de Maderplast.

Fuente: Maderplast, 2008

Maderplast: Información de venta de madera plástica colombiana

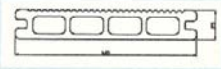

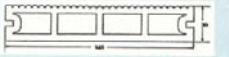
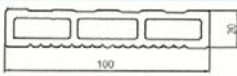
TABLA DE MADERA PLASTICA: compuesto madera vegetal y plastico.			
MEDIDAS	PRECIO PUBLICO POR METRO LINEAL	PRODUCTO	FOTO
14*2,5 COLOR VERDE Y CAFÉ	\$ 30.481		
14,5*3 COLOR GRIS	\$ 33.690		
10*2 COLOR VERDE	\$ 19.572		

Figura E.8 – Información de venta de tabla de madera plástica de Maderplast.
Fuente: Maderplast, 2008

Apéndice F:

Normas consultadas para realizar ensayos físicos

ASTM D638 - 03

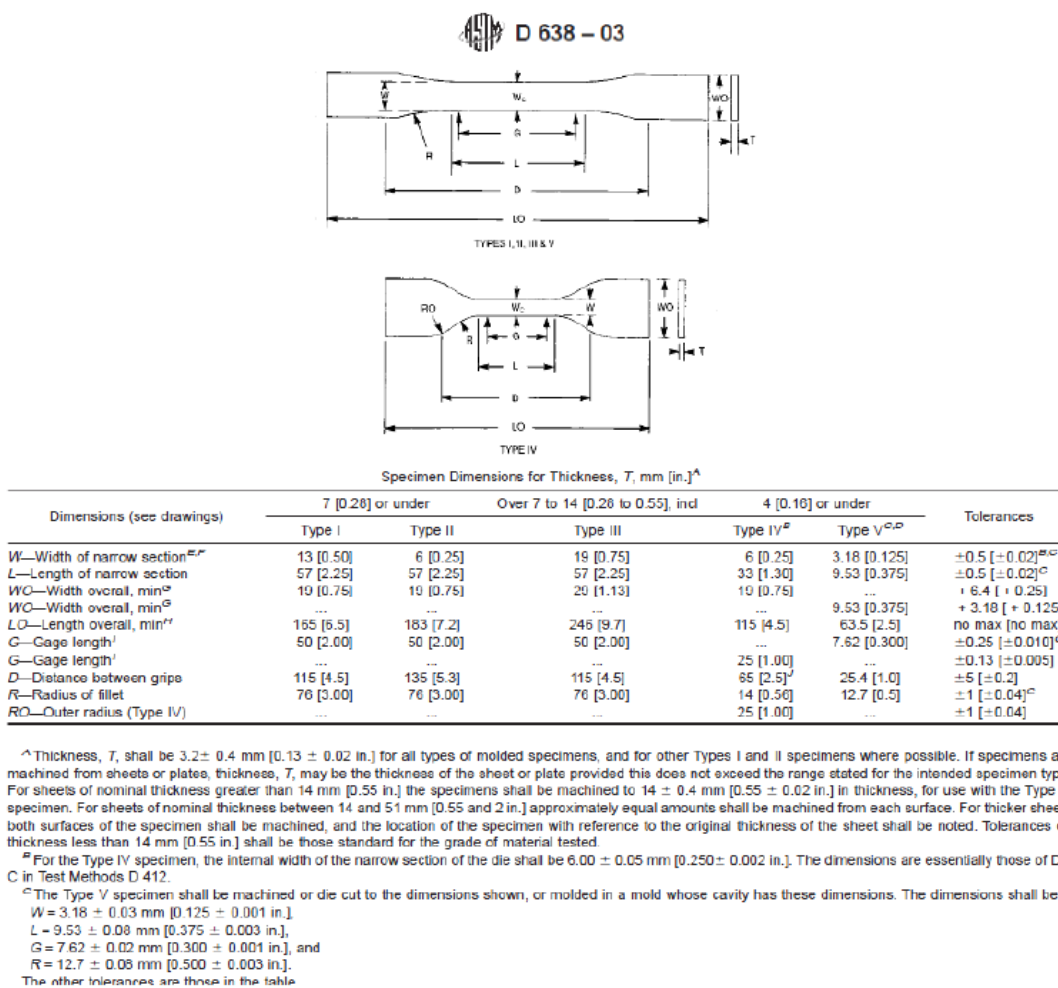


Figura F.1 – Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.

Fuente: ASTM, 2011

Normas consultadas para realizar ensayos físicos

ASTM D256 - 06

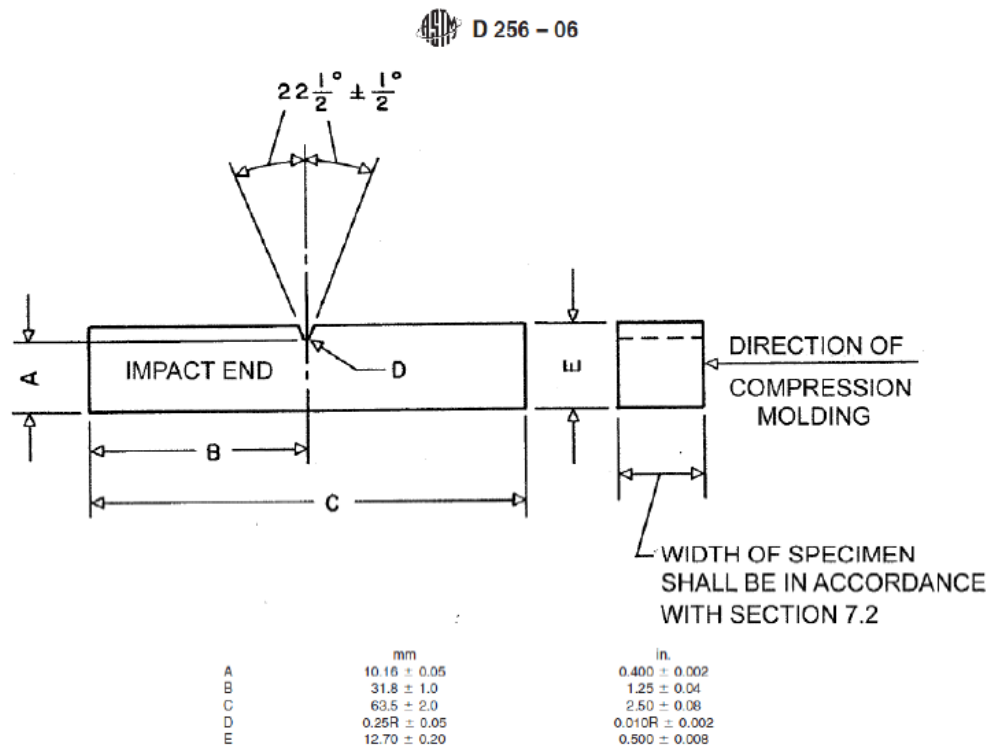


FIG. 6 Dimensions of Izod-Type Test Specimen

Figura F.2 – Método de prueba estándar para determinar la resistencia del impacto del péndulo Izod de los plásticos.

Fuente: ASTM, 2011

ASTM D695 - 08

Preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 25.4 mm (0.50 by 0.50 by 1 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 25.4 mm (cylinder). Where elastic modulus and offset yield-stress data are desired, the test specimen shall be of such dimensions that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. In this case, preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 50.8 mm (0.50 by 0.50 by 2 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 50.8 mm (cylinder).

Figura F.3 – Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos.

Fuente: ASTM, 2011

Apéndice G:**Cálculos realizados para evaluar la factibilidad económica del proyecto**

G.1 – Inversión inicial por concepto de personal en la instalación de la planta piloto por Kruger – Brent, C.A., en Valencia:

(1) Supervisor: 3.000,00 Bs/mes

(2) Ayudantes: 1.500,00 Bs/mes x 2 = 3.000,00 Bs/mes

Total personal mensual: 6.000,00 Bs/mes

Tiempo de instalación de la planta piloto: 6 meses

Total invertido por concepto de personal: 6.000,00 Bs/mes x 6 meses = 36.000,00 Bs.

G.2 – Valor estimado del aumento del salario mínimo para los próximos años en Venezuela:

Aumento del salario mínimo en 2009: 20% anual en dos partes (1).

Aumento del salario mínimo en 2010: 25% anual en dos partes (2).

Aumento del salario mínimo en 2011: 25% anual en dos partes (3).

(1) Decreto presidencial No. 6.660 publicado en la Gaceta Oficial No. 39.151 del 30 de Marzo de 2009.

(2) Decreto presidencial No. 7.237 publicado en la Gaceta Oficial No. 39.372 del 23 de Febrero de 2010.

(3) Decreto presidencial No. 8.167 publicado en la Gaceta Oficial No. 39.660 del 28 de Abril de 2011.

Valor utilizado de aumento de salario mínimo en Venezuela: 25% anual.

G.3 – Costo del suministro de energía eléctrica:

Para una actividad económica definida como pequeña industria y fábrica es de: 0,21 Bs/KWh (Electricidad de Valencia, 2009).

Consumo estimado: 60 KWh/día

Tiempo: 30 días

Costo mensual de: 60 KWh/día x 30 días = 403,2 Bs/mes.

Adicional a este costo están otros cargos por energía, demanda, ajuste por CACE (Cargo por Ajuste de Combustible y Energía aprobado mensualmente por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica) aplicado al consumo, impuesto a las ventas y eliminación de desperdicios y aguas residuales, se obtiene aproximadamente: 800 Bs/mes, el cual fue el valor utilizado.

G.4 – Costo del personal de operación de planta para la producción de madera plástica en Venezuela:

(1) Gerente: 5.000,00 Bs/mes

(1) Supervisor: 4.000,00 Bs/mes

(2) Operadores: 2.500,00 Bs/mes x 2 = 5.000,00 Bs/mes

(2) Ayudantes: 1.500,00 Bs/mes x 2 = 3.000,00 Bs/mes

(1) Chofer: 1.500,00 Bs/mes

Total personal mensual: 18.500,00 Bs/mes

Tiempo: 12 meses + 3 meses (Prestaciones sociales) = 15 meses

Total por concepto de personal: 18.500,00 Bs/mes x 15 meses = 277.500,00 Bs/año.

G.5 – Precio de venta de la madera plástica de Maderplast en Colombia:

Se elaboraron las Tablas G.5.1, G.5.2 y G.5.3 con precios de ventas de diferentes dimensiones de madera plástica de alto impacto, medio impacto y reciclado de acuerdo con la Figura E.7 que contiene la lista de precios:

**Tabla G.5.1
Precio de venta de la madera plástica de “alto impacto” de
Maderplast, Colombia**

Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Volumen (cm³)	Costo (Pesos)	Costo (Pesos/cm³)	Costo (Pesos/kg)
21	8	100	16.800	159.248	9,479	11.775
11	5	100	5.500	54.239	9,862	12.250
10	3	100	3.000	29.621	9,874	12.265
10	10	100	10.000	93.555	9,356	11.622
4,5	4,5	100	2.025	19.778	9,767	12.133
					Promedio:	12.009

Nota. Tabla elaborada con los datos suministrados por Maderplast, 2008
Para una densidad de 0,805 g/cm³.

**Tabla G.5.2
Precio de venta de la madera plástica de “medio impacto” de
Maderplast, Colombia**

Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Volumen (cm³)	Costo (Pesos)	Costo (Pesos/cm³)	Costo (Pesos/kg)
21	8	100	16.800	127.399	7,583	9.420
11	5	100	5.500	43.391	7,889	9.800
10	3	100	3.000	23.697	7,899	9.812
10	10	100	10.000	74.844	7,484	9.297
4,5	4,5	100	2.025	15.822	7,813	9.706
					Promedio:	9.607

Nota. Tabla elaborada con los datos suministrados por Maderplast, 2008
Para una densidad de 0,805 g/cm³.

Tabla G.5.3
Precio de venta de la madera plástica de “reciclado” de
Maderplast, Colombia

Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Volumen (cm³)	Costo (Pesos)	Costo (Pesos/cm³)	Costo (Pesos/kg)
21	8	100	16.800	43.953	2,616	3.250
11	5	100	5.500	14.970	2,722	3.381
10	3	100	3.000	8.175	2,725	3.385
10	10	100	10.000	25.821	2,582	3.208
4,5	4,5	100	2.025	5.459	2,696	3.349
					Promedio:	3.315

Nota. Tabla elaborada con los datos suministrados por Maderplast, 2008
 Para una densidad de 0,805 g/cm³.

G.6 – Cifras utilizadas para la elaboración de la línea de tiempo del proyecto de producción de madera plástica a escala piloto:

Inversión inicial, comprende las maquinarias, transportes, estudios y entrenamientos, arranques y pruebas.

II = 496.000 Bs.

El capital de trabajo inicial, se refiere a inventarios de materia prima y productos terminados, el cual se estimo en el costo de 6 meses de materia prima y salarios.

Materia prima = 0,6 Bs/kg

Salarios = 277.500 Bs/año

CT = $(6 \times 132.480/12) \times 0,6 + (6 \times 277.500/12)$

CT = 178.494 Bs.

Por lo tanto el flujo monetario neto para el año cero es: F0 = -674.494 Bs.

Ingreso Bruto:

IB = 2.848.320 Bs. (Igualando la producción a las ventas)

Producción = 132.480 kg/año

Precio de venta = 21,5 Bs/kg

Los costos operacionales, se refiere a la materia prima para la continuidad del proyecto, el personal, servicios, impuestos y alquileres.

Materia prima para los 6 meses restantes = $(6 \times 132.480/12) \times 0,6 = 39.744$ Bs.

Personal (salarios) para los 6 meses restantes = $(6 \times 277.500/12) = 138.750$ Bs.

Energía eléctrica = $800 \text{ Bs/mes} \times 12 = 9.600$ Bs.

Alquiler de galpón = $12.000 \text{ Bs/mes} \times 12 = 144.000$ Bs.

Cop1 = 332.094 Bs.

En la categoría de otros, se toma en cuenta gastos tales como: consumibles, mantenimientos, repuestos e imprevistos. Estimado en un 10% de los ingresos brutos.

Otros = $0,1 \times \text{IB} = 284.832$ Bs.

En la línea del tiempo también se incluyó el ISLR (Impuesto sobre la renta), impuesto que se paga al estado venezolano a través del SENIAT (Servicio Nacional Integrado de Administración Aduanera y Tributaria) sobre las ganancias obtenidas en el año fiscal. Desde el mes de Febrero del año 2011, la unidad tributaria (U.T.) se encuentra en Bs 76 según gaceta oficial N° 39.623, y toda empresa con ingresos brutos mayores a 1.500 U.T. está obligada a declarar este impuesto que se encuentra en el 34% de las ganancias netas.

$$\text{Ganancia anual} = \text{IB} - \text{II} - \text{CT} - \text{Cop1} - \text{Otros}$$

$$\text{Ganancia anual} = 1.556.900 \text{ Bs.}$$

Por lo tanto, el impuesto sobre la renta es:

$$\text{ISLR} = 1.556.900 \times 0,34$$

$$\text{ISLR} = 529.346 \text{ Bs}$$

Por lo tanto el flujo monetario neto para el año uno es: $F1 = 1.702.048 \text{ Bs.}$

La utilidad neta sobre las ventas es:

$$\text{Utilidad Neta} = \text{Ganancia anual} - \text{ISLR}$$

$$\text{Utilidad Neta} = 1.027.554 \text{ Bs (Para el primer año)}$$

$$\text{Margen de Utilidad} = \text{Utilidad Neta} / \text{Ventas (IB)} = 1.027.554 / 2.848.320$$

$$\text{MU} = 36,08 \%$$

Para los años siguientes se tiene:

Inflación estimada de 25% anual (La inflación acumulada promedio desde 2007 hasta 2010 es de 26,42%, de acuerdo con la Tabla 4.18) afectando a la materia prima, los servicios y el alquiler.

Aumento de sueldos y salarios estimado en 25% anual (De acuerdo con el punto G.2).

El precio de venta de la madera plástica se incrementa solo un 15% anual, acorde con el tipo de producto mayormente plástico.

El ingreso bruto para el año 2 es:

$$\text{IB 2} = \text{IB} \times 1,15$$

$$\text{IB 2} = 3.275.568 \text{ Bs.}$$

$$\text{Cop2} = (\text{Alquiler} + \text{Electricidad} + \text{Materia prima} + \text{Salarios}) \times 1,25$$

$$\text{Cop2} = 638.235 \text{ Bs.}$$

$$\text{Otros 2} = \text{IB 2} \times 0,1$$

$$\text{Otros 2} = 327.557 \text{ Bs.}$$

$$\text{Ganancia año 2} = \text{IB 2} - \text{Cop2} - \text{Otros 2}$$

$$\text{Ganancia año 2} = 2.309.776 \text{ Bs.}$$

$$\text{ISLR 2} = \text{Ganancia año 2} \times 0,34$$

$$\text{ISLR 2} = 785.324$$

$$\text{Utilidad Neta 2} = 1.524.452 \text{ Bs (Para el segundo año)}$$

El Margen de Utilidad es:

$$\text{MU 2} = \text{Utilidad Neta 2} / \text{IB 2} = 1.524.452 / 3.275.568$$

$$\text{MU 2} = 46,54 \%$$

Para el tercer año de ejecución del proyecto, se tiene de igual forma:

$$\text{IB 3} = \text{IB 2} \times 1,15 = 3.766.903 \text{ Bs.}$$

$$\text{Cop3} = \text{Cop2} \times 1,25$$

$$\text{Otros 3} = \text{IB 3} \times 0,1 = 376.960 \text{ Bs.}$$

$$\text{Ganancia año 3} = \text{IB 3} + \text{CT} - \text{Cop3} - \text{Otros 3} = 2.770.913 \text{ Bs.}$$

$$\text{ISLR 3} = \text{Ganancia año 3} \times 0,34 = 942.110 \text{ Bs.}$$

$$\text{Utilidad Neta 3} = 1.828.802 \text{ Bs (Para el tercer año)}$$

$$\text{MU 3} = 48,54\%$$

G.7 – Cálculo del valor actual y la tasa interna de retorno para el proceso de producción de madera plástica a escala piloto:

Tabla G.7.1
Valor actual del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
			CT= 178.494
	IB = 2.848.320	IB2= 3.275.568	IB3= 3.766.903
	Cop1= -332.094	Cop2= -638.235	Cop3= -797.794
II = -496.000	Otros= -284.832	Otros 2= -327.557	Otros 3= -376.690
CT = -178.494	ISLR= -529.346	ISLR 2= -785.324	ISLR 3= -942.110
F0= -674.494	F1= 1.702.048	F2= 1.524.452	F3= 1.828.802

Año	(1)Inversión por recuperar al inicio	(2) Flujo neto	(3) Rendimiento mínimo (3) = 0,3x(1)	(4) Inversión recuperada al final = (2)-(3)	(5) Inversión por recuperar (5) = (1)-(4)
1	674.494	1.702.048	202.348	1.499.700	(825.206)
2	(825.206)	1.524.452	0	1.524.452	(2.349.658)
3	(2.349.658)	1.828.802	0	1.828.802	(4.178.460)

La cifra entre paréntesis es un valor negativo, es decir, que ya se recuperó el monto invertido y este valor es el excedente.

Tabla G.7.2
Factores de interés $i = 30\%$ correspondiente a períodos compuestos discretos

n	P Dinero presente (Bs.)	iP	P(1+i)	(S/Pi,n) Factor de capitalización	(P/Si,n) Factor de actualización
1	674.494	202.348	876.842	1,300	0,769

El valor actual es:

$$VA(30\%) = 825.206 (P/S_{30\%,1})$$

$$VA(30\%) = 825.206 \times 0,769$$

$$VA(30\%) = 634.774 \text{ Bs.}$$

La tasa interna de retorno (TIR) es el valor porcentual que hace que el valor actual sea igual a cero, para esto fue necesario realizar un tanteo con el siguiente resultado:

$$VA(i^*) = 0$$

Tabla G.7.3
Tasa interna de retorno del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)

Año	(1) Inversión por recuperar al inicio	(2) Flujo neto	(3) Rendimiento mínimo (3)=1,523x(1)	(4) Inversión recuperada al final = (2)-(3)	(5) Inversión por recuperar (5) = (1)-(4)
1	674.494	1.702.048	1.027.554	674.494	0

$$TIR = i^* = 152,34 \%$$

G.8 – Costo del personal de operación para la producción de madera plástica a escala industrial:

(1) Gerente: 6.000,00 Bs/mes

(2) Supervisor: 4.000,00 Bs/mes x 2 = 8.000,00 Bs/mes

(4) Operadores: 3.000,00 Bs/mes x 4 = 12.000,00 Bs/mes

(4) Ayudantes: 2.000,00 Bs/mes x 4 = 8.000,00 Bs/mes

(1) Chofer: 2.000,00 Bs/mes

Total personal mensual: 36.000,00 Bs/mes

Tiempo: 12 meses + 3 meses (Prestaciones sociales) = 15 meses

Total por concepto de personal: 36.000,00 Bs/mes x 15 meses = 540.000,00 Bs/año

G.9 – Inversión inicial para producir madera plástica a escala industrial:

(2) Extrusoras marca Jwell serie YF, incluye traslado de China a Venezuela, nacionalización, instalación, entrenamiento y puesta en marcha = 350.000 USD c/u.

(2) Extrusoras importadas = 1.505.000 x 2 = 3.010.000 Bs.

Trituradora de plástico = 120.000 Bs.

Mezclador – secador = 30.000 Bs.

Haladora – cortadora = 40.000 Bs.

(2) Camiones = 400.000 Bs.

Inversión inicial = 3.600.000 Bs.

G.10 – Capital de trabajo para producir madera plástica a escala industrial:

Producción = 200 kg/h

Jornada de 8 h/día, 23 días/mes, 12 meses/año

Producción anual = 441.600 kg/año

Costo materia prima plástica anual = 0,6 Bs/kg x 441.600 kg/año

Costo materia prima = 264.960 Bs/año

Personal = 540.000 Bs/año.

CT = Materia prima + Personal

CT = 804.960 Bs.

Por lo tanto el flujo neto para el año cero es:

F0 = -(II + CT)

F0 = -4.404.960 Bs.

G.11 – Ingreso bruto de producir madera plástica a escala industrial:

Producción anual = 441.600 kg/año

Precio de venta = 21,5 Bs/kg

IB = 9.494.400 Bs.

G.12 – Costos operacionales y el resto de cifras utilizadas para producir madera plástica a escala industrial:

Energía eléctrica = 1.600 Bs/mes x 12 = 19.200 Bs.

Alquiler de galpón = 24.000 Bs/mes x 12 = 288.000 Bs.

Cop1 = 307.200 Bs.

Otros = 10% del ingreso bruto.

ISLR = 34% de la ganancia neta anual.

Ganancia neta = IB – II – CT – Cop1 – Otros

Otros = 949.440 Bs.

ISLR = 1.303.152 Bs.

F1 = 6.934.638 Bs. (Flujo monetario neto para el año 1 = IB – Cop1 – Otros – ISLR)

Para el año 2

$$IB\ 2 = 1,15 \times IB$$

$$IB\ 2 = 10.918.560\ Bs.$$

$$Cop2 = (\text{Alquiler} + \text{Electricidad} + \text{Materia prima} + \text{Personal}) \times 1,25$$

$$Cop2 = 1.390.200\ Bs.$$

$$\text{Otros } 2 = 0,1 \times IB2$$

$$\text{Otros } 2 = 1.091.856\ Bs.$$

$$ISLR\ 2 = 2.868.411\ Bs.$$

$$F2 = 5.568.093\ Bs.$$

Para el año 3

$$IB\ 3 = 1,15 \times IB\ 2$$

$$Cop3 = 1,25 \times Cop2$$

$$\text{Otros } 3 = 0,1 \times IB\ 3$$

$$F3 = 6.842.827\ Bs.$$

G.13 – Valor actual y margen de utilidad del proyecto de producción de madera plástica a escala industrial:

La utilidad neta sobre las ventas es:

$$\text{Utilidad Neta} = IB - II - CT - Cop1 - \text{Otros} - ISLR$$

$$\text{Utilidad Neta} = 2.529.648\ Bs\ (\text{Para el primer año})$$

$$\text{Margen de Utilidad} = \text{Utilidad Neta} / \text{Ventas (IB)} = 2.529.648 / 9.494.400$$

$$MU = 26,64\ \%$$

Se elaboró la Tabla G.13.1 con las cifras de los puntos G.8 al G.12 para determinar el valor actual y la tasa interna de retorno para el proyecto a escala industrial:

Tabla G.13.1
Valor actual del proyecto a escala industrial (cifras en Bolívares)

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
			CT= 804.960
	IB= 9.494.400	IB2= 10.918.560	IB3= 12.556.344
	Cop1= -307.200	Cop2= -1.390.200	Cop3= -1.737.750
II = -3.600.000	Otros= -949.440	Otros2=-1.091.856	Otros3=-1.255.634
CT= -804.960	ISLR=-1.303.152	ISLR2= -2.868.411	ISLR3= -3.525.093
F0 = -4.404.960	F1= 6.934.608	F2 = 5.568.092	F3 = 6.842.827

Año	(1)Inversión por recuperar al inicio	(2) Flujo neto	(3) Rendimiento mínimo (3) = 0,3x(1)	(4) Inversión recuperada al final = (2)-(3)	(5) Inversión por recuperar (5) = (1)-(4)
1	4.404.960	6.934.608	1.321.488	5.613.120	(1.208.160)
2	(1.208.160)	5.568.093	0	5.568.093	(6.776.253)
3	(6.776.253)	6.842.827	0	6.842.827	(13.619.080)

La cifra entre paréntesis es un valor negativo, es decir, que ya se recuperó el monto invertido para el primer año y este valor es el excedente.

Tabla G.13.2
Factores de interés $i = 30\%$ correspondiente a períodos compuestos discretos

n	P Dinero presente (Bs.)	iP	P(1+i)	(S/Pi,n) Factor de capitalización	(P/Si,n) Factor de actualización
1	4.404.960	1.321.488	5.726.488	1,300	0,769

El valor actual es:

$$VA(30\%) = 1.208.160 (P/S_{30\%,1})$$

$$VA(30\%) = 1.208.160 \times 0,769$$

$$VA(30\%) = 929.354 \text{ Bs.}$$

G.14 – Tasa interna de retorno del proyecto de producción de madera plástica a escala industrial:

La tasa interna de retorno (TIR) es el valor porcentual que hace que el valor actual sea igual a cero, para esto fue necesario realizar un tanteo con el siguiente resultado:

$$VA(i^*) = 0$$

Tabla G.14.1
Tasa interna de retorno del proyecto a escala piloto (cifras en Bolívares)

Año	(1)Inversión por recuperar al inicio	(2) Flujo neto	(3) Rendimiento mínimo (3)=0,5742x(1)	(4) Inversión recuperada al final = (2)-(3)	(5) Inversión por recuperar (5) = (1)-(4)
1	4.404.960	6.934.608	2.529.648	4.404.960	0

$$TIR = i^* = 57,42 \%$$