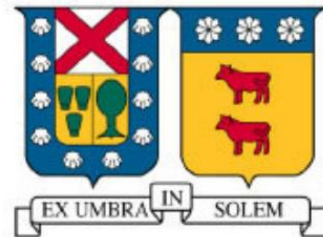


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE**



“Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak ®”

**SEBASTIÁN ANDRÉS ORTIZ MARTÍNEZ
TRABAJO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO MENCIÓN ENERGÍA**

**PROFESOR GUÍA: Prof.-Ing. Sheila Lascano F.
PROFESOR CORREFERENTE: Luis Pérez Pozo**

Julio – 2016

Resumen

El propósito de esta tesis es desarrollar el diseño conceptual y de configuración de una máquina generadora de bloques a partir del triturado de envases de Tetra Pak. Para lo cual se desarrollan tanto un trabajo de investigación como entrevistas para recopilar las necesidades del cliente. Algunos de los entrevistados fueron: Albañiles, arquitectos, constructores, dueños de empresas de reciclaje de Tetra Pak®, entre otros. Se estudia también la caracterización del material de los envases, realizándose un ensayo no normalizado de tensión respectivo, para obtener el Módulo de Young de una fibra. También se indaga en las tecnologías actuales de conformado de plásticos y se escoge según criterios de diseño. Conforme lo anterior se desarrolla la arquitectura del diseño. Adicionalmente, se desarrolla un modelo CAD del prototipo de bloque, el cual se materializa gracias a una impresión 3D. Así mismo, se desarrolla un modelo CAD de un molde para la máquina de bloques. Finalmente se realiza una comparación de consumo eléctrico entre una ladrillera de arcilla y una industria de Tectan.

Agradecimientos

A mi familia por darme siempre la posibilidad de estudiar.
A mis amigos de la vida y universidad por apoyarme y enseñarme en el transcurso.
A Natalia por ser la energía, motivación y motor esencial para concluir esta etapa.
Y finalmente a mi persona, porque decidí dar lo mejor de mí mismo.

Índice

1. Marco Teórico	1
1.1. Acerca del Tetra Pak ®.....	1
1.1.1. Historia del envase de Tetra Pak ®	1
1.1.2. Tipos de Envases en el Mercado	2
1.1.3. Composición y propiedades de los materiales.....	3
1.2. Reciclaje de envases de Tetra Pak ®	5
1.2.1. Entre el consumo y el reciclaje.....	5
1.2.2. Proceso de Reciclaje.....	5
1.2.3. Reciclaje en Chile y el mundo.....	7
1.3. Productos fabricados con Tetra Pak ® reciclado y tableros de madera.....	8
1.3.1. Tipos de tableros.....	8
1.3.2. Producción del Yekpan.....	9
1.3.3. Propiedades del Yekpan	10
1.4. Materiales compuestos.....	11
1.4.1. Matriz	11
1.4.2. Refuerzo.....	12
2. Caracterización del material.....	13
2.1. Ensayo de Tensión	13
2.1.1. Teoría.....	13
2.1.2. Norma ASTM D5083	15
2.2. Equipos, herramientas y componentes a utilizar.....	17
2.2.1. Descripción previa de los ensayos y rangos admisibles	17
2.3. Resultados	18
3. Metodología de diseño	19
3.1. Definición	19
3.2. Proceso de diseño.....	20
3.2.1. Primera Fase: Diseño conceptual	21
3.2.2. Segunda Fase: Diseño de configuración.....	21
3.2.3. Tercera Fase: Diseño de detalle.....	22

4.	Desarrollo del Diseño Conceptual.....	22
4.1.	Definición del problema	22
4.2.	Entendiendo el problema	22
4.2.1.	Encuestas a personas relacionadas con el concepto a desarrollar	24
4.3.	Listado de Atributos.....	24
4.4.	Objetivos, Restricciones y Funciones	26
4.5.	Categorizar los objetivos de diseño	28
4.6.	Jerarquización de Objetivos.....	30
4.7.	Análisis funcional	32
4.8.	Descripción de funciones de la Máquina.....	34
4.9.	Análisis de benchmarking.....	34
4.10.	Estableciendo especificaciones de diseño en ingeniería	37
4.11.	Matriz de objetivos-especificaciones	39
4.12.	Casa de la calidad.....	45
4.12.1.	QFD Máquina	45
4.12.2.	QFD Ladrillo.....	50
4.13.	Resolución de problemas y contradicciones de diseño	55
4.13.1.	Contradicciones y soluciones Máquina	55
4.13.2.	Método de resolución de problemas: TRIZ	56
4.14.	Búsqueda de patentes	57
4.15.	Carta morfológica.....	72
4.16.	Brainstorming.....	77
4.17.	Matriz de relación Máquina/Producto.....	77
4.17.1.	Matriz de relación Objetivos Producto – Insumos Máquina	78
4.17.2.	Matriz de relación Objetivos Producto – Objetivos Máquina	80
4.18.	Generación de Conceptos.....	81
4.18.1.	Concepto 1: Enfoque moldeo por inyección.....	81
4.18.2.	Concepto 2: Enfoque moldeo por compresión	82
4.18.3.	Concepto 3: Enfoque moldeo por transferencia	83
4.19.	Selección de un concepto por el método de los pesos ponderados	83
5.	Arquitectura de diseño	85

5.1.	Tipo de arquitectura	85
5.2.	Definición de la arquitectura del equipo	86
6.	Diseño de configuración.....	91
6.1.	Componentes	91
6.2.	Correa transportadora	92
6.3.	Triturador	92
6.4.	Silo	92
6.5.	Bomba de particulado	94
6.6.	Recipientes de resina y pigmentos	94
6.7.	Mezclador de cinta.....	94
6.8.	Tornillo reciprocante.....	95
6.9.	Molde	96
6.10.	Cilindros oleo hidráulicos de compresión y expulsión	97
6.11.	Chiller.....	98
6.12.	Unidad oleo hidráulica	98
6.13.	Unidad de control	98
6.14.	Características estructurales	98
6.15.	Elementos oleo Hidráulicos	98
6.16.	Diseño CAD	99
7.	Fabricación de un prototipo de bloque con impresora 3D	103
7.1.	Ladrillo.....	103
7.1.1.	Ladrillo de arcilla.....	103
7.2.	Ladrillo de Tetra Pak®	103
7.2.1.	Especificaciones Ladrillo	104
7.3.	Ladrillo generado en impresora 3D	105
8.	Análisis energético comparativo	110
8.1.	Comparación básica de consumo eléctrico de la industria ladrillera y el concepto desarrollado.....	110
9.	Conclusiones	113
10.	Bibliografía.....	114
11.	Anexos	117

11.1.	Instrumentos de medición y ensayo:	117
11.1.1.	Procedimiento del ensayo	123
11.1.2.	Ensayo Zwick Roell Z30 (Campus Casa Central)	128
11.2.	Respuestas de encuestas	133
11.2.1.	Encuesta a Teca Plak	133
11.2.2.	Encuesta a especialistas	137
11.3.	Descripción y propiedades de los insumos	146
11.3.1.	Polímero (resina).....	146
11.3.2.	Tipos de entrecruzamiento de polímeros y sus propiedades.....	146
11.3.3.	Pigmentos y restricciones químicas	148
11.3.4.	Tetra Pak ®	149
11.4.	Procesos de conformado con matriz polimérica	150
11.4.1.	Moldeo por inyección	150
11.4.2.	Moldeo por compresión	154
11.4.3.	Moldeo por transferencia	155
11.5.	Características de la mezcla refuerzo-matriz	156

Lista de Figuras

Figura 1: Envases comerciales de Tetra Pak ®.	2
Figura 2: Descomposición de la pared que conforma un envase. Se pueden apreciar las seis capas que lo conforman.	3
Figura 3: Muestra cómo se relacionan los conceptos de fibra, lámina, matriz y laminado.	11
Figura 4: De izquierda a derecha, fibra corta al azar, fibra corta con orientación común, fibras largas unidireccionales y laminado [24].	12
Figura 5: De izquierda a derecha, particulado general, hojuelas, y esqueleto o filled.	13
Figura 6: Cartón tipo panal de abeja (honey comb).	13
Figura 7: Cuerpo sometido a cargas axiales generando deformación δ	14
Figura 8: Diagrama fuerza vs deformación unitaria.	15
Figura 9: Dimensiones de probeta según ASTM 5083.	16
Figura 10: Muestra el porcentaje de la fuerza nominal para el cual la medición está dentro de los rangos mínimos para la norma ISO7500 [25].	17
Figura 11: Diagrama de la metodología de diseño.	20
Figura 12: Domo en las instalaciones de Phoenix Brik. Su estructura es de fierros reciclados y su cubierta de planchas en base a triturado de Tetra Pak ®.	23
Figura 13: Caja negra de la máquina generadora de bloques.	33
Figura 14: Caja transparente de la máquina generadora de bloques.	33
Figura 15: Brainstorming o tormenta de ideas para el diseño de la máquina.	77
Figura 16: Tipos de arquitectura de diseño [31].	86
Figura 17: Diagrama de componentes y funciones de la máquina.	86
Figura 18: Módulo de Control.	87
Figura 19: Módulo de Triturado.	87
Figura 20: Módulo de mezclado.	88
Figura 21: Módulo de inyección.	88
Figura 22: Módulo de moldeo.	89
Figura 23: módulo de soporte estructural.	89
Figura 24: Bosquejo de funciones y grupos. Se puede observar en color amarillo el grupo de triturado, azul el de mezclar, rojo el de inyectar, violeta el de moldear, verde el de control y negro el soporte estructural.	90
Figura 25: Dimensiones del silo.	93
Figura 26: Perfil de temperaturas del tornillo y molde para una máquina inyectora de polímeros termoestables.	97
Figura 27: Vista isométrica de la máquina generadora de bloques.	99
Figura 28: Se aprecia en la zona superior el silo y la estructura del triturador en naranja.	99
Figura 29: Vista frontal de la máquina generadora de bloques.	100
Figura 30: Vista trasera de la máquina generadora de bloques.	100
Figura 31: Plano 1 de máquina generadora de bloques.	101

Figura 32: Plano 2 de máquina generadora de bloques. Se pueden apreciar los detalles del triturador y su estructura en A, B y C.....	102
Figura 33: Nombres de las caras de un ladrillo [37].....	103
Figura 34: Vista isométrica del modelo.....	105
Figura 35: Vista isométrica del bloque en la cual se pueden ver con línea de segmento, las cavidades internas del bloque.	105
Figura 36: Cuadro comparativo de densidades de impresión 3d.....	106
Figura 37: Diseño impreso en MakerBot Replicator 2X. La posición de la imagen fué la escogida para imprimir el bloque.	106
Figura 38: Tres bloques generados a partir de la impresión 3D ensamblados en disposición a soga.	107
Figura 39: Vista en corte de una de las puntas superiores del ladrillo. Se puede apreciar la densidad de impresión 15[%].	107
Figura 40: Vista isométrica del molde. Se observan a un costado cuatro entradas y salidas de tubería para el refrigerante. Y al otro costado, en el centro, el canal para inyección.	108
Figura 41: Corte central que separan las dos mitades del molde.....	108
Figura 42: Corte a la altura del canal bebedero para inyectar mezcla.....	109
Figura 43: Plano del molde de cuatro cavidades. Se observa en el inferior, la placa con sus pasadores eyectores que generan la expulsión de los bloques.....	109
Figura 44: Diagrama Sankey de consumo energético de la planta de ladrillos.....	110
Figura 45: Direcciones de la máquina de ensayo: x, y, z.	117
Figura 46: Máquina de ensayo de materiales Zwick Roell serie BT1-BF030TN.D30.....	118
Figura 47: Elementos físicos de la máquina de ensayo Zwick Roell serie BT1-BF030TN.D30.	118
Figura 48: Captador de fuerza Xforce P de 30[kN].....	119
Figura 49: Mandíbulas planas para sujeción de probetas de cara llana plana.	120
Figura 50: Multímetro Fluke 179 RMS.....	121
Figura 51: Indicador de deformación de cuatro canales. Permite el uso de un cuarto, medio o completo puente de Wheastone.	122
Figura 52: Rollo de Tetra Pak ® antes de la formación de la caja.	123
Figura 53: Detalle de los pliegues que vienen de la fábrica Tetra Pak ®.....	124
Figura 54: Cara superior e inferior de la probeta utilizada. Se pueden observar los pliegues en los extremos.	124
Figura 55: Probeta y strain gage pegados con Permatex 82565.....	125
Figura 56: Diagrama eléctrico referente a un cuarto de puente de Wheatstone.	125
Figura 57: Un cuarto de puente de wheatstone ilustrado para realizar conexiones en instrumento de medición de deformaciones Vishay P3.....	125
Figura 58: Probeta con strain gage y cables soldados para conectar el cuarto de puente de Wheatstone.	126
Figura 59: Probeta 1, ensayo hasta la falla.	128
Figura 60: Probeta 2, ensayo hasta la rotura.....	129

Figura 61: Rango elástico probeta 1.....	129
Figura 62: Rango elástico probeta 2.....	130
Figura 63: Primer ensayo para la probeta con strain gage en casa central.....	130
Figura 64: Segundo ensayo para la probeta con strain gage en casa central.....	131
Figura 65: Tercer ensayo para la probeta con strain gage en casa central.....	131
Figura 66: Cuarto ensayo para la probeta con strain gage en casa central.....	132
Figura 67: Quinto ensayo para la probeta con strain gage en casa central.....	132
Figura 68: Sistema de moldeo por inyección para polímeros. A la izquierda el sistema de inyección, y a la derecha se observa el sistema de sujeción del molde.....	150
Figura 69: Molde de un sistema de moldeo por inyección. A la izquierda se observa un molde cerrado, mientras que a la derecha un molde abierto.....	151
Figura 70: Gráfico de volumen específico en función de la temperatura. Representa como cambian dichas magnitudes dentro del molde. La recta segmentada con menor pendiente muestra la fase sólida de la mezcla, mientras que la con mayor pendiente es la fase líquida.....	153
Figura 71: Proceso de formado por compresión. Instalación del polímero en el molde, posteriormente compresión en caliente, y finalmente apertura del molde.....	154
Figura 72: Moldeo por transferencia, un sistema que recoge características del moldeo por compresión e inyección.....	155

Lista de Tablas

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas del aluminio [12].....	4
Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas del polietileno [12].....	4
Tabla 3: Producción mundial en 1999 de Yekpak (OSB Tetra Pak ®) [20].	8
Tabla 4: Propiedades mecánicas de los paneles compuestos de madera [21].	9
Tabla 5: Propiedades mecánicas y físicas de Ecoplak, panel similar a Yekpan.....	10
Tabla 6: Parámetros a configurar para el ensayo de Tracción.....	16
Tabla 7: Resultados para los ensayos realizados en casa Central con “strain gage”...18	
Tabla 8: Comparativa de módulos de young para distintos materiales.	19
Tabla 9: Personas encuestadas para recopilar las necesidades del cliente.	24
Tabla 10: Objetivos de diseño para la máquina generadora de bloques.....	26
Tabla 11: Restricciones para la máquina generadora de bloques de Tetra Pak ®.....	27
Tabla 12: Funciones para la máquina generadora de bloques de Tetra Pak ®.....	27
Tabla 13: Objetivos para el bloque generado por la máquina.	27
Tabla 14: Restricciones para el bloque generado por la máquina.	28
Tabla 15: Funciones para el bloque generado por la máquina.	28
Tabla 16: Objetivos de la máquina clasificados.	29
Tabla 17: Objetivos del ladrillo clasificados.	29
Tabla 18: Objetivos de la máquina jerarquizados.	30
Tabla 19: Objetivos del bloque jerarquizados.	31
Tabla 20: Objetivos de la máquina valorizados.....	31
Tabla 21: Objetivos del bloque valorizados.	32
Tabla 22: Benchmarking previo de los objetivos de la máquina.....	35
Tabla 23: Benchmarking previo del Ladrillo generado por la máquina.	36
Tabla 24: Especificaciones de diseño de la máquina.	37
Tabla 25: Especificaciones de diseño del ladrillo.	38
Tabla 26: Matriz objetivos- especificaciones para la máquina.	39
Tabla 27: Matriz objetivos- especificaciones para el bloque.	42
Tabla 28: QFD Máquina parte 1.....	45
Tabla 29: QFD Máquina parte 2.....	46
Tabla 30: QFD Máquina parte 3.....	47
Tabla 31: QFD Máquina parte 4.....	48
Tabla 32: QFD Máquina parte 5.....	49
Tabla 33: QFD Ladrillo parte 1.....	50
Tabla 34: QFD Ladrillo parte 2.....	51
Tabla 35: QFD Ladrillo parte 3.....	52
Tabla 36: QFD Ladrillo parte 4.....	53
Tabla 37: QFD Ladrillo parte 5.....	54
Tabla 38: Soluciones encontradas a contradicciones Máquina y Ladrillo.	55
Tabla 39: Metodología TRIZ para contradicciones.....	57

Tabla 40: Patentes para el diseño de la máquina.	57
Tabla 41: Carta morfológica para el diseño de la máquina.	73
Tabla 42: Matriz objetivos producto e insumos máquina (parte 1).	78
Tabla 43: Matriz objetivos producto e insumos máquina (parte 2).	79
Tabla 44: Matriz Objetivos máquina-producto (parte 1).	80
Tabla 45: Matriz Objetivos máquina-producto (parte 2).	81
Tabla 46: Valorización de conceptos.	84
Tabla 47: Tabla de componentes que contiene el diseño escogido.	91
Tabla 48: Especificaciones de una máquina inyectora comercial y volumen de 1 bloque de mezcla resina triturado.	96
Tabla 49: Consumos eléctricos mensuales de la planta ladrillera Santander.	111
Tabla 50: Característica de la máquina de ensayos.	119
Tabla 51: Características de la celda de carga.	120
Tabla 52: Características de las mandíbulas utilizadas en los ensayos de tracción.	120
Tabla 53: Tamaño de particulado del Tetra Pak. ®.	149
Tabla 54: Ciclo del proceso de inyección.	152
Tabla 55: Definición de magnitudes utilizadas en teoría de mezclas.	156
Tabla 56: Valores definidos para el diseño del ladrillo.	157
Tabla 57: Valores de magnitudes pertenecientes a los materiales a utilizar.	157
Tabla 58: Magnitudes encontradas de la teoría de mezclas.	158
Tabla 59: Comparativa para un ladrillo de 1[kg] de peso de magnitudes como: cantidad de cajas usadas por ladrillo (cc), Alto ladrillo (AlLad) y volumen de matriz (vm).	158
Tabla 60: Comparativa para un ladrillo de 0,5[kg] de peso de magnitudes como: cantidad de cajas usadas por ladrillo (cc), Alto ladrillo (AlLad) y volumen de matriz (vm).	159

Nomenclatura

OSB: Oriented Strand Board (tablero de virutas orientadas)

MDF: Medium Density Fiberboard

IFEU: Instituto de Energía e Investigación Ambiental

FSC: Forest Stewardship Council

ONG: Organización no gubernamental

TP: Termoplásticos, Termofijos

TS: Termos fijos, Termo estables

IBC: Intermediate Bulk Container

Introducción

El ciclo de vida de un producto, como concepto en la industria sostenible, representa la idea de que existe responsabilidad respecto al consumo de energía, materia prima y desechos, no solo en el nacimiento del producto, sino que también en su uso y disposición final. A esta problemática surgen dos alternativas aplicadas a la fase final del proceso, la reutilización y el reciclaje. Por otro lado, actualmente existen productos de consumo que se han masificado debido a las características técnicas que poseen, un ejemplo de ellos es el Tetra Pak.

Hoy en día , se produce anualmente cerca de 173 millones de envases fabricados en el mundo [1] de los cuales un 24,5% fue reciclado. En el año 2012, Chile generó 6.5 millones de toneladas de basura, donde clasifican como envases de distinto tipo más de dos millones de toneladas, de los cuales el 33% es de tipo papel y cartón, en su mayor parte Tetra Pak [2].

Tetra Pak ha demostrado tener conciencia respecto al impacto ambiental de sus envases, y ha realizado una serie de iniciativas para combatir dicha problemática. Por ejemplo, ha aumentado la cantidad de materia prima certificada con FSC, y también planea llegar al 2020 con un 40% de reciclaje de sus envases a nivel mundial [3]. Esta preocupación se refuerza al saber que, del reciclaje de envases de Tetra Pak, no se puede producir otro envase de este producto. Su ciclo de reciclaje es abierto, por lo que aumenta el impacto. En Chile existen pocas empresas dedicadas al reciclaje de dicho residuo. En 2013 Tetra Pak y papelera Concepción inauguraron el primer hidropulper de tratamiento de estos envases en Chile, abriendo las posibilidades de negocio a empresas que necesiten utilizar ciertos componentes o láminas del envase para algún otro proceso de reciclaje [4]. Otros usos son por ejemplo la incineración de polietileno y aluminio en hornos como material combustible [5], recuperación de aluminio por pirolisis [5], producción de productos de plásticos por termo inyección [6], entre otros. Del mismo modo, el hidropulper promueve el reciclaje del papel para producir cartón. Finalmente, existe otra tecnología importante en el reciclaje de estos envases, es el llamado Yekpan u OSB (oriented strand board) de triturado de envases. Basándose en esta última forma de reciclaje, y con la necesidad de generar nuevas ideas para dar un uso adecuado a los residuos de Tetra Pak, este trabajo de título propone diseñar una máquina generadora de bloques o ladrillos de Tetra Pak, que pueden ser empleados como alternativa en edificaciones livianas o de carácter estético.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de título es diseñar a nivel de configuración una máquina generadora de bloques o estructuras de construcción tipo ladrillos en base Tetra Pak®.

Para lograr el objetivo anteriormente planteado se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el material del envase.
- Definir el problema tanto para el producto como para la máquina.
- Desarrollar el problema a través de la metodología del diseño conceptual.
- Seleccionar un concepto y desarrollar la arquitectura del equipo.

Las estrategias a utilizar para desarrollar los objetivos específicos son:

- Entrevistas y visitas.
- Ensayo de tensión a probeta de Tetra Pak® .
- Aplicación de teoría de mezclas.
- Matriz Máquina/Producto.
- Diseño de Modelo CAD: Máquina, molde y ladrillo.
- Impresión 3D de ladrillo.

1. Marco Teórico

En este primer capítulo, se aborda desde diferentes enfoques el envase de Tetra Pak ®. Tanto su composición, como las múltiples aristas de su reciclaje. Finalmente se introduce el tema de los materiales compuestos.

1.1. Acerca del Tetra Pak ®

1.1.1. Historia del envase de Tetra Pak ®

En 1943 la empresa proveniente de Suecia, Tetra Pak ®, comenzó a diseñar un envase para intentar satisfacer los siguientes requerimientos: “Crear un envase para leche que requiera un mínimo de material, mientras provee máxima higiene”[1]. A mediados de la década del cuarenta se comienza a investigar con papel forrado por plásticos. Se usa el polietileno como plástico para separar capas de cartón. Esta caja no era aséptica por lo que comienza a trabajar en este importante ámbito. Un revolucionario cambio, que se produjo en el año 1959, es el comienzo del desarrollo del envase Tetra Brik ® (ladrillo). Con el tiempo y las mejoras de la máquina de envases aséptica, se abren muchas industrias de esta empresa en todo el mundo, confirmando el liderato del mercado de envases.

Tetra Pak® es la empresa líder en esta clase de envases, con 173,234 millones de envases vendidos [1]. En el mundo, existen 8825 máquinas de packaging operativas de esta empresa, así como 40 plantas productoras para el material del envase y tapas dispensadoras. Tetra Pak ® tiene 6 fábricas encargadas de construir máquinas para sus procesos productivos. Existen también 78 oficinas de ventas que coordinan las ventas de los más de 170 países donde se venden los envases.

Respecto a los recursos humanos, hay 23540 empleados en todo el mundo y 16 centros técnicos de entrenamiento. Para terminar, respecto a las ventas, el 2013 se generaron ventas netas de 11075 millones de euros. Por lo tanto, esta empresa al ser dueña y creadora de sus envases y patentes, tiene el liderato respecto a la producción mundial.

Existen empresas que generan envases con características parecidas. Por ejemplo, le sigue la empresa “SIG Combibloc”, la cual genera 30,000 millones de envases, casi un sexto de lo que genera Tetra Pak ®.

1.1.2. Tipos de Envases en el Mercado

Los envases de cartón más importantes desarrollados por esta industria son [7]:

- **Tetra Brik Aseptico:**
Es un envase con forma de ladrillo que tiene diferentes tamaños.
- **Tetra Classic Aseptico:**
Este envase tiene forma de tetraedro, el cual fue el primer tipo creado. Puede contener hasta 500 [ml] en su interior.
- **Tetra Fino Aseptico:**
Tiene forma de sachet y no contiene plegados. Una característica relevante es que no requiere refrigeración en su distribución. Puede contener volúmenes de 200 a 1000 [ml].
- **Tetra Prisma Aseptico:**
Es un envase similar al Tetra Brik, pero este contiene 8 caras que le dan bordes más suavizados y ergonómicos. Puede contener volúmenes de 200 a 2000 [ml].
- **Tetra Rex:**
Nuevamente similar a Tetra Brik, pero con la cara superior en forma de tejado. Se utiliza para productos pasteurizados que requieren de cadena de frio. Estos envases pueden estar en formato de 150 a 2000[ml].
- **Tetra Top:**
Envase parecido a Tetra Brik, pero con una tapa integrada plástica y moldeada en máquina envasadora. Su finalidad es contener productos pasteurizados de mayor viscosidad que necesitan refrigeración.



Figura 1: Envases comerciales de Tetra Pak ®.

1.1.3. Composición y propiedades de los materiales

El Tetra Pak ® está formado por un conjunto de 6 láminas. El objetivo de estas es mantener los alimentos sin preservantes, en óptimas condiciones y por largos periodos de tiempo. De afuera hacia adentro se encuentran 6 capas [8] [9]:

- Capa 1: Polietileno
Entrega impermeabilización al envase. Separa los alimentos de la humedad atmosférica. Esta capa exterior solo tiene un grosor de 12 micras.
- Capa 2: Cartón
Es el esqueleto del envase, le da rigidez y forma. También en esta capa están impresos los diseños del envase.
- Capa 3: Polietileno (2da)
Esta capa se utiliza para generar la adhesión de la capa de cartón con la de aluminio.
- Capa 4: Aluminio
La finalidad de esta importante capa es proteger el producto de la luz, el oxígeno y bacterias. Existen distintos tipos de envases similares al Tetra Pak ®, pero la diferencia entre estos es que solo este último tiene la capa de aluminio. El espesor de la hoja se ha reducido de 9 hasta 6,5 micras en los últimos años (Tetra Pak 2006).
- Capa 5: Polietileno (3ra)
Esta nueva capa de polietileno tiene la función de mejorar la adhesión del aluminio.
- Capa 6: Polietileno (4ta)
Para finalizar, esta capa tiene la función de hacer el envase por dentro impermeable y además separar los alimentos de la capa de aluminio

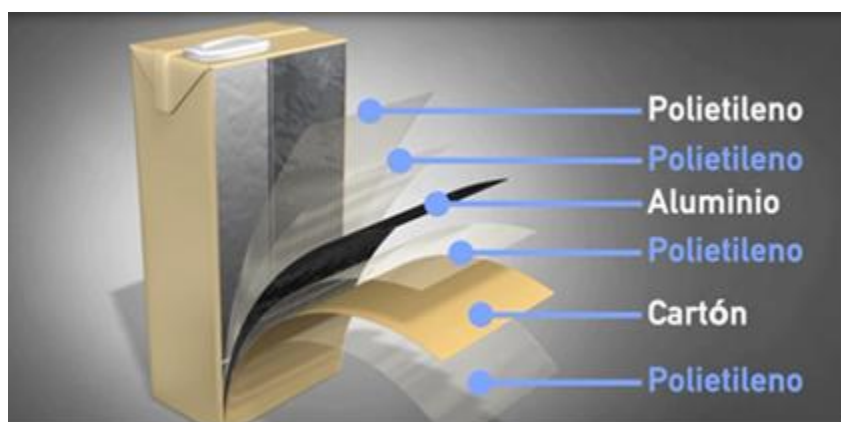


Figura 2: Descomposición de la pared que conforma un envase. Se pueden apreciar las seis capas que lo conforman.

Cabe destacar que la forma y pliegues del envase son generados por prensas a alta presión, sin necesidad de aplicar pegamentos. Respecto al peso, un 74% del envase es papel (cartón), 22 % polietileno y 4% aluminio. También se sabe que una caja de Tetra Pak ®

estándar con capa de aluminio masa aproximadamente 28 [gr] [10]. Las propiedades de los materiales que forman una caja de Tetra Pak ® se muestran a continuación:

- Papel

El papel utilizado en los envases "Tetra Brik Aseptic" es el llamado "de fibra larga". Este se utiliza cuando se necesita papel de mejores propiedades mecánicas y más aptos para el procesamiento mecánico [11]. "Fibra larga" es uno de los tipos de materia prima para la fabricación de la pasta de celulosa.

- Aluminio

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas del aluminio [12].

Propiedades físicas	
Densidad (kg/m^3)	2500-2900
Propiedades mecánicas	
Módulo de Young E [GPa]	69
Módulo de Corte [GPa]	25
Relación de Poisson [-]	0.33
Esfuerzo de fluencia σ_y [MPa]	35
Resistencia a la tensión σ_{ts} [MPa]	90

- Polietileno

El polietileno usado en los envases es el llamado "de baja densidad", o en sus siglas en inglés LDPE (low density polyethylene).

Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas del polietileno [12].

Propiedades físicas	
Densidad (kg/m^3)	910-925
Propiedades mecánicas	
Módulo de Young E [GPa]	0.17-0.28
Módulo de Corte [GPa]	-
Relación de Poisson [-]	-
Esfuerzo de fluencia σ_y [MPa]	9.0-14.5
Resistencia a la tensión σ_{ts} [MPa]	8.3-31.4

- Tintas

Las tintas en Tetra Pak ® deben cumplir con especificaciones internacionales de higiene y salud, por lo que no se permiten pigmentos con compuestos metálicos. Según la impresión hay dos tipos de papel, Uncoated Duplex (sin estucar) y Claycoated Duplex/Triplex (estucado) [7]. El estucado es un proceso donde se le brinda al cartón una

capa de pintura especial para que se imprima de mejor forma sobre él y se realcen los colores.

1.2. Reciclaje de envases de Tetra Pak ®

1.2.1. Entre el consumo y el reciclaje

El envase de Tetra Pak ® no puede ser reciclado en su estado original después de ser consumido el alimento. Es por esto que la empresa Tetra Pak ® ha entregado una serie de pasos para mejorar el proceso de reciclaje. Una vez consumido el alimento, inicialmente se deben abrir las 4 pestañas laterales. Después lavar los envases con agua por dentro y por fuera. Esto es para eliminar los restos de alimentos, evitar los malos olores y descomposición una vez esté el envase apilado. Posteriormente se deben secar, para finalizar el proceso aplastando y plegando el envase contribuyendo a aumentar el número de cajas apiladas en los centros de acopio de material reciclable [13].

1.2.2. Proceso de Reciclaje

Como se puede intuir el envase de Tetra Pak ® no es bio degradable, lo que, sumado al aumento en la producción de envases, hacen que Tetra Pak ® haya generado la necesidad de su reciclaje.

El proceso de tratamiento del residuo de envase se puede dividir en las siguientes etapas:

- Separación de los envases Tetra Pak ® de la basura (latas, botellas, bolsas, etc.) [13].
- Trituración:

Existen dos formas de procesar dicho envase, por trituración e hidropulper.

- Trituración convencional:

El envase es triturado en molinos de papel para ser usado directamente el picado como materia prima o ayudar al proceso de separación de capas (hidropulper). El producto de la trituración son trozos de aproximadamente 3 a 5 [mm] [14].

- Separación de capas con hidropulper:

Consiste en un depósito de gran tamaño similar a una licuadora, donde se muelen los envases con una serie de espas y se mezclan con agua. La finalidad es separar las 6 capas del Tetra Pak ® (cartón, polietileno y aluminio). Este proceso dura aproximadamente de 30 a 40 minutos, y al finalizar, por flotación, el plástico junto con el aluminio picado ascienden y el papel húmedo desciende [5]. Por lo tanto, el Hidropulper separa la pasta de papel picado del plástico y aluminio. El volumen del recipiente del Hidropulper varía entre 5 y 40 [m^3]. Otra característica a considerar es que esta máquina no usa ninguna solución química adicional, solo agua.

Por otro lado, el tipo de rotor y las velocidades de giro del hidropulper, determinan características de la fibra de papel resultante. Por ejemplo, rotores de baja consistencia

(consistencia menor a 6%) se usan cuando no se exigen fibras tan pequeñas. Por otro lado, los rotores de alta consistencia (consistencia entre 12 y 15 %) generan una pulpa suave o de fibras muy pequeñas, pero requiere más tiempo de funcionamiento que el rotor de baja consistencia. La consistencia se define como un porcentaje de la cantidad de fibras diluidas por volumen de agua.

Después del proceso del Hidropulper se procede a separar las fibras de papel del aluminio y el polietileno, para obtener materias primas para distintos productos. En el caso de las fibras es necesario realizar un proceso de filtrado para prevenir restos de aluminio o polietileno, y en el caso de estos últimos, se procede a una fase de lavado en un tambor rotativo para después ser prensados.

- Usos del producto después del proceso de triturado convencional:
Una vez el envase ha sido triturado se puede utilizar directamente como materia prima para otros productos:
 - Yekpan:
Una de las tecnologías utilizadas es la de compresión térmica, que genera un aglomerado compacto similar al OSB (Oriented Strand Board) llamado Yekpan. El producto de la trituración se pone en moldes, los cuales se calientan durante 20 minutos a 170 [°C] [15]. El calor funde el polietileno generando una placa aglomerada y compacta. Las placas pueden tomar formas curvas o rectas sin necesidad de pegamentos, solo utilizando calor. Este producto fue usado en Chile para el proyecto “Un techo para Chile” de Hogar de Cristo, dedicado a prefabricar casas de bajos recursos.

- Usos del producto después del proceso de hidropulper:
Existe una variedad de usos y post procesos como, por ejemplo:
 - Polietileno y aluminio:
Estos productos se almacenan en fardos que son enviados a industrias como materia prima para distintos usos, como se muestra a continuación:
 - Incineración para generar energía en hornos de cemento:
Se utiliza como fuente de energía, reduciendo el consumo de combustibles fósiles. Se requiere que el horno o caldera tenga un sistema de lavado de gases o precipitadores electro estáticos, que permiten atrapar el particulado de aluminio. Además en la combustión, el aluminio reacciona con el oxígeno produciendo trióxido de aluminio, que se usa en las plantas de tratamiento de agua [5].
 - Recuperación del aluminio por pirolisis:
La finalidad es recuperar el aluminio de la mezcla aluminio-polietileno. Se logra gracias a un horno de pirólisis con bajo porcentaje de oxígeno en la combustión, previniendo la oxidación del aluminio [5].

- Fabricación de productos de plástico por termo inyección:

El polietileno es un termo plástico que al calentarse se funde y puede ser utilizado para generar nuevos productos plásticos. En el proceso de inyección de plástico en moldes el aluminio no influye en la mezcla, volviéndolo esta mezcla una excelente materia prima reciclada [6].

- Cartón:

El papel molido generado en el hidropulper, es utilizado para fabricar cartón corrugado, cartón liso, cajas de huevo, suelas, papel de seda (volantín), núcleos de papel, etc [16].

1.2.3. Reciclaje en Chile y el mundo

En 2013, cerca de un 24,5 [%] de dichos envases se recicló en el mundo[3], lo cual es bajo pensando que la degradación de estos va desde 30 a 45 años. Esta empresa espera el 2020 llegar al 40 [%] de reciclaje mundial. En Chile, durante el año 2012, se generaron 2.059.371 toneladas de envases de distinto tipo, los cuales el 33 [%] es de tipo papel y cartón, en su mayor parte Tetra Pak ® [2].

Por otro lado, el círculo del reciclaje del Tetra Pak ® no es cerrado, por lo que, del reciclaje de este, no se puede generar un nuevo envase. Entonces, cada nuevo envase producido requiere materias primas nuevas, sobre todo de papel. Respecto a la huella de carbono generada por un envase, la empresa Tetra Pak ® afirma en su web que un envase Tetra Brik de 1000 [ml] tipo base (forma), tiene una emisión de 29 [gr CO₂e] [17]. Esta huella de carbono es baja en comparación a otros envases como uno de vidrio [18] de 500gr (523 gr CO₂e) o una botella PET de 0,5 litros (78gr CO₂e) [19]. Los últimos años Tetra pak ® ha obtenido el sello FSC (Forest Stewardship Council) que se otorga a empresas que utilizan papel de fuentes de bosques con manejo responsable. Esto significa gestión forestal económicamente adecuada, socialmente provechosa y ambientalmente responsable.

En Chile existen pocas empresas que atienden la necesidad de reciclaje del Tetra Pak ®. Debido al proceso de Pulper, donde se separan los componentes del envase (cartón, polietileno y aluminio), hay diferentes empresas que se encargan de reutilizar los residuos una vez separados.

En el año 2013 la empresa Tetra Pak ®, Forestal y Papelera de Concepción y el ministerio de Medio Ambiente, inauguraron el primer pulper de tratamiento de envases larga vida en Chile. La finalidad de esta máquina es separar los componentes del envase y captar el cartón para su próximo reciclaje. El producto final que generan ellos es papel y cartón 100% reciclado, pero también entregan el polietileno y aluminio a otras empresas para tratamiento [4].

Por otro lado, se ha estado utilizando otra tecnología de reciclaje de estos envases, es la llamada "Compresión por calor". La finalidad este es generar placas o planchas de aglomerado (similar a OSB), las cuales pueden ser utilizadas para fabricar muebles, o

diversos artículos que se podrían realizar de igual forma con madera. La empresa encargada de esto es Teca Plak Chile.

Otro proceso que se realiza en Chile después de la separación en Pulper es el de Termo inyección, realizado por la empresa Comber Plast. La finalidad de este proceso es generar envases plásticos usando como materia prima el polietileno y aluminio.

1.3. Productos fabricados con Tetra Pak ® reciclado y tableros de madera.

Como se explicó previamente, existe una forma alternativa al hidropulper para tratar los envases de Tetra Pak ®. Consiste en la trituración y posterior calentamiento de las partículas, formando una placa maciza, similar al OSB de madera, llamada originalmente Yekpan.

Esta tecnología comenzó a estudiarse por la misma empresa Tetra Pak ® en 1987 en Kenya, y después comenzó a desarrollarse en distintos países como China, Turquía, Alemania, Argentina, entre otros [20]. Las toneladas producidas de OSB en base a Tetra Pak ® y los nombres alternativos en cada país para Yekpan se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 3: Producción mundial en 1999 de Yekpak (OSB Tetra Pak ®) [20].

Lugar	Nombre comercial	Ton/año
Argentina	T-PLAK	910
Brasil	Reciplak	200
China (2 fábricas)	Chiptec	1500
Alemania	Tectan	500
Kenya	Lamiboard	350
Pakistan	Green Board	750
Slovakia	Tetra K1, K2, K3	645
Turquía	Yekpan	1400
	Total	6255

1.3.1. Tipos de tableros

En el mercado de tableros de madera hay distintos tipos de paneles compuestos de madera, los cuales por J.Robert se definen como “Cualquier material de madera formado entre si con adhesivos”[21]. Los más usados en el mercado son: Particleboard, MDF y OSB. El primero de estos consta de un panel generado en base a aserrín. El MDF (panel de fibra de densidad media), o también conocido con el nombre de Trupán, se fabrica en base a fibra de madera, por lo que lo hace más costoso que los tableros o planchas de particleboard. El MDF es más usado que el particleboard para hacer mobiliarios por sus mejores propiedades

mecánicas y poco astillamiento [22]. Finalmente, el OSB es un panel a base de trozos pequeños o astillas de madera, cuya formación se genera al sobreponer varias capas hechas de astillas. Cada capa tiene una orientación en 90° respecto a la capa anterior generándose un material homogéneo y más resistente a cargas que los anteriores. Sus propiedades son similares a la de la madera normal y su densidad es cercana a la de las maderas ligeras [21]. En la siguiente tabla se puede observar las propiedades mecánicas de estos paneles compuestos de madera.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de los paneles compuestos de madera [21].

Material	Gravedad específica	Módulo de elasticidad [GPa]	Módulo de ruptura [MPa]
Particleboard	0,6-0,8	2,76-4,14	15,17-24,13
Medium-density fiberboard (MDF)	0,7-0,9	3,59	35,85
Oriented Strandboard (OSB)	0,5-0,8	4,41-6,28	21,80-34,70

1.3.2. Producción del Yekpan

En la fabricación del Yekpan se utiliza por completo el envase y no hay desperdicios después del proceso. Las plantas de en base a Yekpan son pequeñas, tienen capacidad para 2-5 toneladas día. El proceso consta de las siguientes etapas:

- Triturado (lavado y secado)

El control de la humedad es imprescindible para evitar problemas en la compresión en calor.

- Moldeado

Se esparce el material triturado en una plancha homogéneamente antes de la compresión con calor, esto es importante si se quiere obtener una placa de densidad uniforme. La plancha donde se deposita el material puede estar cubierta con un papel de Teflon para evitar que se pegue en el proceso de moldeado. Otro método es utilizar papel Kraft sobre la plancha antes de depositar el material.

- Compresión con calor y frío
- Prensa en caliente:

Se comprime la plancha antes generada en el proceso de moldeado, donde se alcanzan temperaturas desde 160 a 180 [°C]. Existen distintos tipos de prensa según la cantidad de planchas que pueden comprimir, hay desde 1 a 6 simultáneamente. Si la plancha final debe tener 10 mm de espesor, se debe dejar 10 minutos en proceso de prensa en caliente (1 min por milímetro). La finalidad del polietileno es derretirse y unir las fibras y el aluminio en

forma de matriz elástica. Complementariamente, el aluminio provoca que el calor se propague uniformemente[14].

- Prensa en frío:

Se utiliza para hacer el prensado final y obtener el espesor especificado. Es relevante que la plancha entre a la prensa en frío seguido del proceso de prensa en caliente, por lo que ambas prensas deben ser de capacidades similares para evitar enfriamientos. Lo anterior provoca que la deformación plástica de la plancha sea menor (menor temperatura) en comparación a una plancha recién salida de la prensa en caliente. Se recomienda una temperatura sobre 80 [°C] al ingresar y la plancha debe ser retirada de la prensa en frío a una temperatura de 20[°C] para asegurar que esta no se exponga a esfuerzos de magnitud de fluencia al retirarla (caso que estuviera a más altas temperaturas al retirarse). Esta característica es de suma importancia, ya que se hace imperioso tener sistema de enfriamiento del bloque generado.

- Manejo o dimensionado

Las placas se retiran de la prensa en frío con una ventosa de vacío. Para finalizar se procede a cortar las planchas a la medida que se requiera para su comercialización. Se generan desde planchas para muebles, casas, juegos para niños, y hasta tejas para casas con un proceso similar al antes comentado.

1.3.3. Propiedades del Yekpan

Este producto tiene importantes propiedades físicas y mecánicas, las cuales pueden ser de mucha utilidad si se usan como planchas para la construcción de hogares. Algunas propiedades de este producto son: Acústicas, térmicas y mecánicas. Estas se basan en estudios de la empresa Industriales Orión, los cuales desarrollaron un producto de similares características al Yekpan, llamado Ecoplak. Ellos definen su producto como: “Producto de la compactación mediante termocompresión del componente plástico, sin el uso de resinas fenólicas (urea-formaldehído), las cuales son de gran costo y alto impacto ambiental, logrando así el beneficio de un material totalmente resistente a la humedad y agentes químicos” [23].

Estudios al panel Ecoplak arrojaron las siguientes propiedades mecánicas y físicas:

Tabla 5: Propiedades mecánicas y físicas de Ecoplak, panel similar a Yekpan.

Parámetro	valor
Módulo de rotura [N/mm^2] [MPa]	20
Módulo de Young [GPa]	1,49
Humedad máxima [%]	4
Densidad [Kg/m^3]	1070

1.4. Materiales compuestos

Los materiales compuestos son arreglos o mezclas de materiales, los cuales están formados tanto por un refuerzo (fibra o lámina), y también una matriz, el cual puede ser un polímero (termoplástico, termoestable o aglomerante)

Los constituyentes de este tipo de material son generalmente arreglos donde una o más fases discontinuas son incrustados en una fase continua [24]. La fase discontinua es el refuerzo, mientras que la fase continua es la matriz. La cualidad principal de la fase discontinua es brindar resistencia y rigidez a la fase continua.

Importante es destacar la diferencia entre los siguientes tres conceptos: Fibra, lámina y laminado. El primero hace referencia a un caso especial de refuerzo, donde la relación largo-diámetro es alta y pueden ser clasificados en fibras cortas o largas. Encontramos también las llamadas láminas, que son un arreglo unidimensional o tejido de fibras suspendidas en una matriz. Y por último, un laminado es un conjunto de láminas apiladas, cuya orientación de las fibras, brinda distintas propiedades mecánicas. Se puede apreciar con claridad en la siguiente figura:

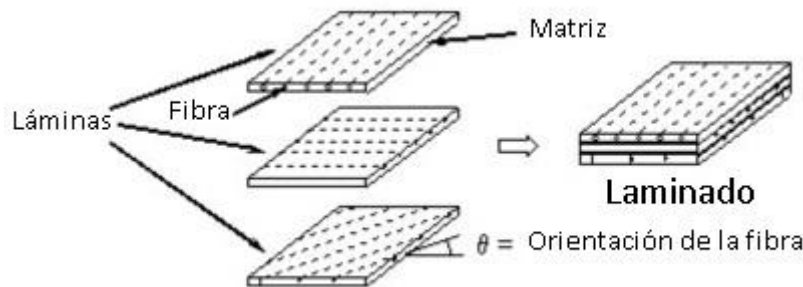


Figura 3: Muestra cómo se relacionan los conceptos de fibra, lámina, matriz y laminado.

1.4.1. Matriz

Es un material aglutinante que soporta, separa y protege el refuerzo. Brinda un camino por el cual las cargas se distribuirán hacia las fibras, y también suelen ser menos resistentes, rígidas y densas que los refuerzos. Las matrices pueden ser dúctiles o frágiles, así como también plásticas o elásticas. Existen muchos tipos de materiales de matrices, dentro de los cuales están: carbón, cerámico, vidrio, metal y polimérico.

1.4.2. Refuerzo

Forman parte de la estructura del material compuesto, y pueden ser tipo fibroso o particulado. Los refuerzos más utilizados son: boro, vidrio, grafito, Kevlar®, aluminio, titanio, entre otros. A continuación, se describen los tipos de refuerzos existentes:

- *Fibrosos*

Son fibras de material, las cuales pueden ser de tipo continuo o picado. Las primeras, se caracterizan por tener una gran razón largo-diámetro. Su diámetro oscila generalmente entre 3-200 [μm] dependiendo del material y tipo de fibra larga. Por otro lado, las de tipo picado, fibras cortas o bigotes, se caracterizan por ser más cortas que las fibras largas y tener en general una razón largo-diámetro de 5 a 1000. Su diámetro oscila entre 0,02 y 100 [μm].

Por otro lado, las fibras continuas pueden ser configuradas de forma unidireccional o en forma de láminas. Del mismo modo, las fibras cortas pueden formar arreglos al azar y sin orientación común, así como también ser ordenadas para que tengan cada una de las fibras la misma orientación.

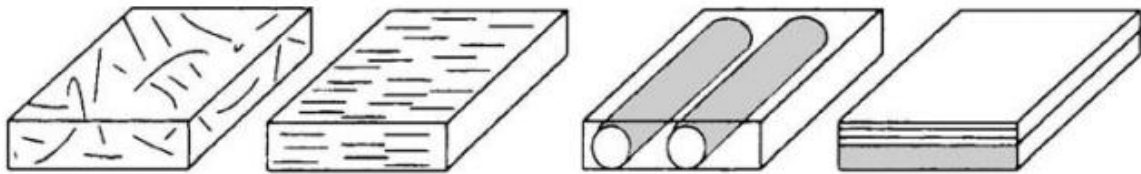


Figura 4: De izquierda a derecha, fibra corta al azar, fibra corta con orientación común, fibras largas unidireccionales y laminado [24].

1.4.2.1. *Particulados*

Se caracterizan por ser partículas suspendidas en la matriz, y dependiendo de su forma es como se clasifican. Las hojuelas son un tipo de particulado que se caracteriza por tener alta razón área-espesor. Por otro lado, los particulados de tipo esqueleto o “filled”, son materiales compuestos la matriz es de fase continua y se llena por un segundo material. Este es el caso de los paneles tipo panal de abeja (honeycomb). En la siguiente imagen se pueden apreciar diferentes tipos de particulados.

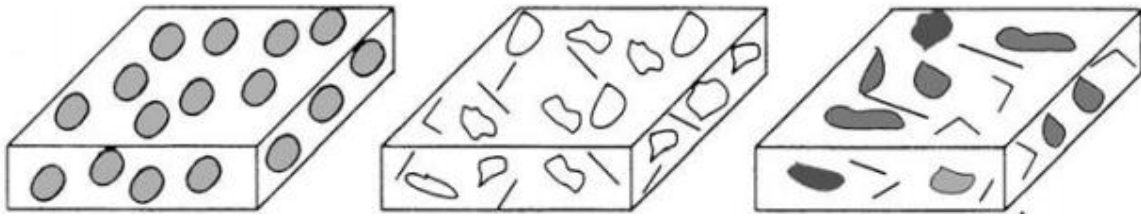


Figura 5: De izquierda a derecha, particulado general, hojuelas, y esqueleto o filled.



Figura 6: Cartón tipo panal de abeja (honey comb).

2. Caracterización del material

Uno de los primeros pasos para poder comenzar el diseño, es saber con qué materia prima se está trabajando. Dado que esta es el material del envase de Tetra Pak®, se procede a caracterizarlo realizando un ensayo de tensión.

2.1. Ensayo de Tensión

2.1.1. Teoría

La finalidad de este ensayo es obtener parámetros mecánicos propios del material, los cuales son útiles para el diseño del ladrillo. No solo para generar especificación técnica, sino para saber con qué clase de material se está trabajando, y así poder compararlo con otros similares. Gracias a este ensayo se genera el diagrama Fuerza vs Deformación unitaria, a partir del cual se obtienen parámetros como el Módulo de Young y la fuerza o resistencia última del material.

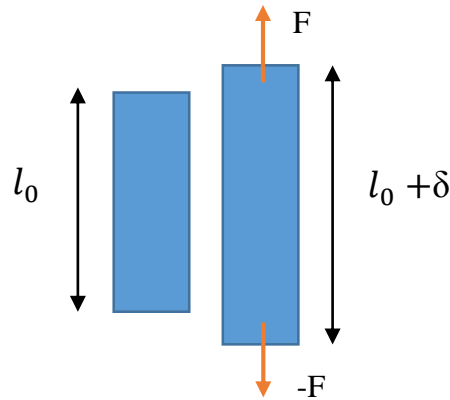


Figura 7: Cuerpo sometido a cargas axiales generando deformación δ .

El ensayo de tensión consta en ejercer un esfuerzo o fuerza en tracción en el eje axial de la probeta. Como se sabe de la teoría de resistencia de materiales, en el cuerpo se genera una deformación total δ producto de las fuerzas axiales. Pero dado que este parámetro no es independiente del largo de la probeta, se divide por el largo total l_0 , obteniendo una deformación por unidad de largo de probeta ε (deformación unitaria). Generando un término que permite comparar gráficas de materiales, independiente del largo de la probeta.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l_0} [-]$$

Por otro lado, se sabe que el esfuerzo normal que se ejerce por la máquina sobre la probeta se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A} [Pa]$$

Donde F es la fuerza en la dirección “y” de la máquina (ver anexo 11.1) o axial y A es la sección transversal de la probeta.

Sabiendo lo anterior, la función principal de la máquina es registrar y aplicar fuerzas graduales (cuasiestático) a la probeta, para simultáneamente con ayuda de algún método de medición de deformación (Strain Gage), obtener la gráfica F vs ε .

Al observar dicha gráfica, se pueden identificar rangos y parámetros importantes para el estudio. En la siguiente gráfica F vs ε se puede observar que al comenzar el ensayo, para bajas fuerzas y deformaciones, existe una proporcionalidad directa entre F y ε . Dicha zona se llama “Rango elástico” (deformaciones reversibles), ya que la probeta al dejar de estar exigida por fuerzas en tensión, vuelve a su largo inicial l_0 , por lo que ε se vuelve cero. En dicha zona, se cumple la “Ley de Hooke”, que relaciona esfuerzos y deformaciones:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon [Pa]$$

La pendiente de esta recta, E , se conoce como “Módulo de Young”, el cual es una característica del material y de la dirección en que se ejerce la fuerza. Para materiales isotrópicos, el módulo de Young es igual independiente de la dirección donde se ejercen las fuerzas. En cambio, para materiales anisotrópicos, el módulo de Young es independiente para cada una de las tres direcciones cartesianas de fuerza x , y , z .

El rango elástico finaliza cuando ya no se cumple la linealidad entre las variables; Dicha fuerza al final del rango se llama “Fuerza de fluencia”. Probetas exigidas a fuerzas mayores que la de fluencia, implican deformaciones plásticas o irreversibles. Al seguir incrementando el valor de la carga en tracción, se puede observar que la pendiente de la curva comienza a disminuir tendiendo a cero. Este valor de fuerza es el llamado “UTS”, “Fuerza última” o “Fuerza máxima”. Después de la fuerza última comienzan a disminuir los valores de la carga en tensión debido a que la sección transversal de la probeta comienza a disminuir; este fenómeno se llama estricción. La deformación sigue aumentando a medida que la fuerza disminuye, hasta que ocurre la ruptura. Este valor de fuerza se llama “resistencia a la fractura” o “fuerza de ruptura”.

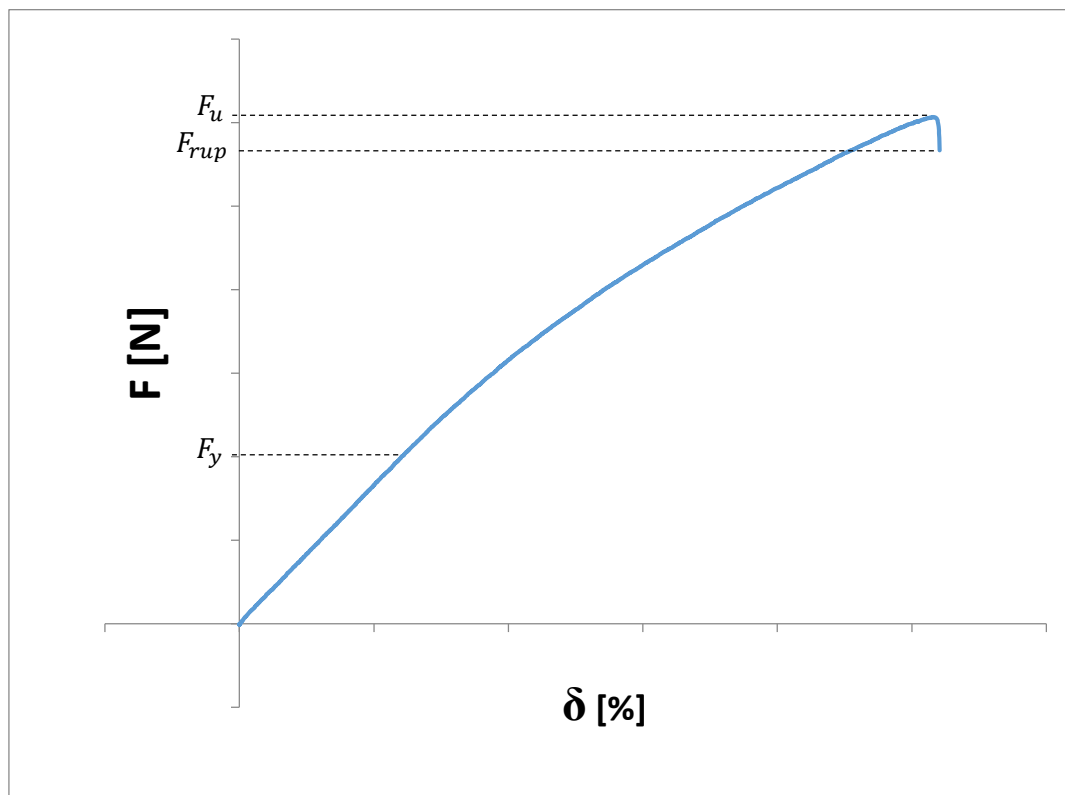


Figura 8: Diagrama fuerza vs deformación unitaria.

2.1.2. Norma ASTM D5083

Para estimar las propiedades del material se emplea la norma ASTM D5083. Esta norma se aplica para materiales con un módulo de Young menor a los 20 [GPa] y espesores de probeta entre 2 a 10 [mm]. Las láminas de Tetrapak[®] poseen un espesor de 0,444 [mm]

en promedio, lo cual se encuentra por fuera de la norma ya mencionada. Sin embargo, dado que no existe una norma exacta para ensayar este tipo de materiales compuestos, se empleará como base esta norma, haciendo algunas modificaciones. Es por ello que, se realiza un ensayo no normalizado, dado que no es posible seguir al pie de la letra la norma antes citada. En este caso, la probeta consta de las siguientes dimensiones:

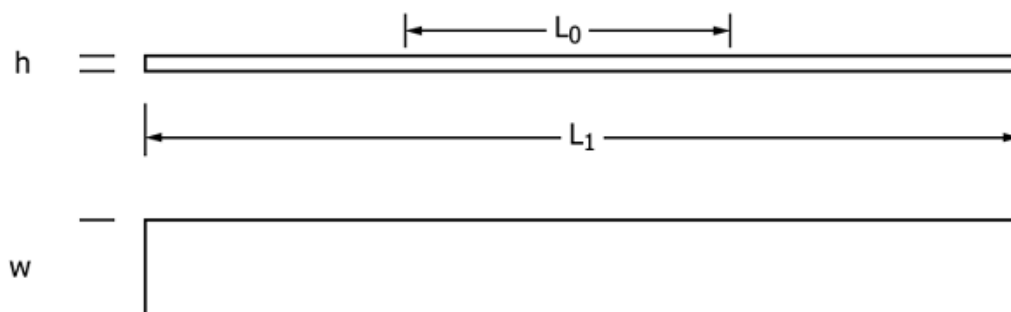


Figura 9: Dimensiones de probeta según ASTM 5083.

A continuación, se especifican los parámetros importantes de esta norma:

Tabla 6: Parámetros a configurar para el ensayo de Tracción

Parámetro	Rango	Unidad
Low modulus	< 20	[GPa]
L_1 , largo total	≥ 250	[mm]
w, ancho	$25 \pm 0,5$	[mm]
h, espesor	2 a 14	[mm]
L_0 , zona del gage	50 ± 1	[mm]
Testing Machine	Constant rate of crosshead movement type	[-]
Mordazas	Autoalineantes	[-]
Mordazas	Tipo planas	[-]
Velocidad de máquina	regulable	[-]
Indicador de carga	Precisión 1% o mejor	
Micrometro	Resolución 0,025	[mm]
Número de probetas	5 para materiales isotrópicos	[-]
Velocidad de la máquina para obtener módulo E	2	[mm/min]

2.2. Equipos, herramientas y componentes a utilizar

2.2.1. Descripción previa de los ensayos y rangos admisibles

Para la ejecución de los ensayos se empleó una máquina universal de la serie **Zwick Roell Z30**, con una celda de carga Xforce P con capacidad de 30 [kN] (fuerza nominal), y dependiendo del rango de fuerzas donde se ensaye la máquina puede tener una clase de precisión (0,5 o 1) (error de medición). Originalmente la celda de carga viene certificada en clase 0.5 (0.5[%] de error) de 600[N] a 30[kN] y clase 1 (1[%] de error) de 120[N] a 30[kN].

Bajo 120[N] no se certifican esta máquina, ya que dicho equipo no está diseñado para estos rangos inferiores. Según el representante de la marca en Chile, el error estaría cercano al 2[%]. El valor inferior del rango de medición para esta celda de carga es 0,4[%] de la fuerza nominal obteniéndose 120 [kN]. Por lo tanto, los ensayos de esta máquina hasta la falla de la probeta (0-400 [N]), cumplen con la norma ISO 7500. Mientras que los ensayos dentro del rango elástico no cumplen dicha norma, ya que esta se realiza entre 10-60 [N].

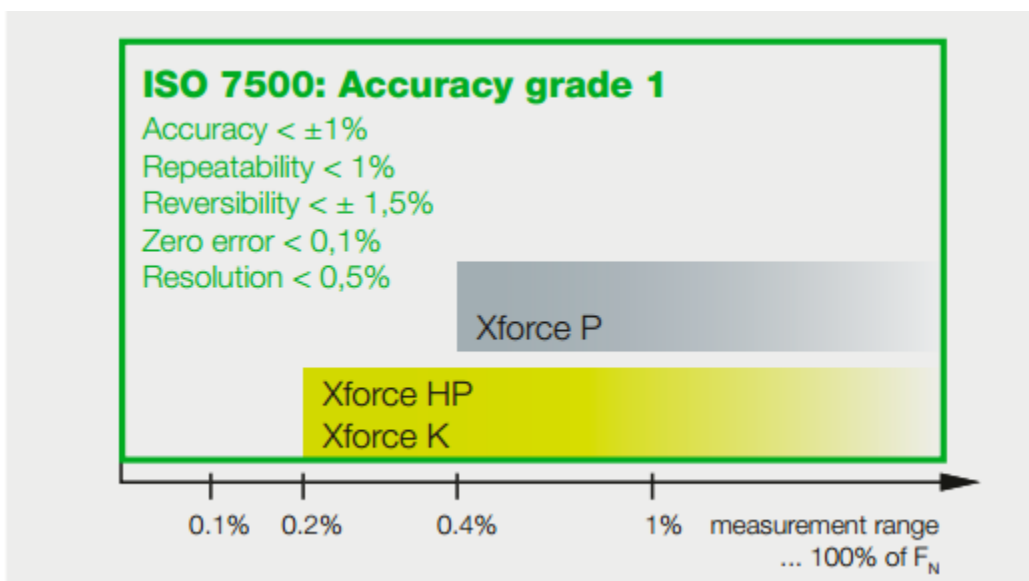


Figura 10: Muestra el porcentaje de la fuerza nominal para el cual la medición está dentro de los rangos mínimos para la norma ISO7500 [25].

Para la sujeción de la muestra, se emplearon mandíbulas planas para sujeción de probetas de cara llana plana, como se muestra en la figura. Asimismo, para la toma de datos se empleó un Multímetro Fluke modelo 179 true RMS, strain gages y el registrador Vishay P3. En el anexo 11.1 se observa el detalle de los equipos y el procedimiento llevado a cabo.

2.3. Resultados

En la máquina Zwick Roell Z30 se realizaron dos tipos de ensayo, inicialmente uno hasta la rotura y posteriormente otro ejerciendo fuerzas dentro del rango elástico. La finalidad del primero es poder conocer cuál es el rango elástico y definir una zona libre de deformaciones plásticas para el segundo. La finalidad de este ensayo es obtener el módulo de Young del material de Tetra Pak ®.

Un factor primordial a la hora de analizar los datos es que la máquina tiene su propia forma de medir la deformación, pero no hay que olvidar que cuando se ejercen fuerzas, todo el conjunto se deforma, por lo que lo que se registra en deformaciones no es real. Un valor de deformación mucho más confiable, es el obtenido en los ensayos dos en el rango elástico con Strain Gage.

La fórmula para obtener el módulo de Young E es:

$$E = \frac{\frac{\Delta F_{uerza} [N]}{\Delta [\mu\epsilon]}}{A [mm^2]} \times 10^6 [MPa]$$

Donde E es el módulo de Young en [MPa], $\frac{\Delta F_{uerza} [N]}{\Delta [\mu\epsilon]}$ es la pendiente de la gráfica Fuerza vs $[\mu\epsilon]$, A es el área de la sección transversal en $[mm^2]$. El área de dicha sección es el ancho de la probeta (25[mm]) multiplicado por el espesor (0,46[mm]), lo que resulta 11,5 $[mm^2]$. Los valores obtenidos de módulo de Young E para el ensayo en la máquina de Campus Casa Central son:

Tabla 7: Resultados para los ensayos realizados en casa Central con “strain gage”.

Ensayo	E [MPa]
A	4852,92
B	4979,79
C	4652,58
D	4705,57
E	4970,98
Promedio	4832,36

En conclusión, el módulo de Young del Tetra Pak ® es muy probable que esté contenido cercano a 4800 [MPa], y en la siguiente tabla se puede observar que materiales cumple con características similares de este parámetro [12]:

Tabla 8: Comparativa de módulos de young para distintos materiales.

Material	E [MPa]
Grafito extruido	11000
Poliéster	2060-4410
Tereftalato de polietileno (PET)	2760-4140
Policloruro de vinilo (PVC)	2410-4140
Fibra de vidrio con matriz epóxica	45000
Madera abeto en sentido de las fibras	10800-13600

Por lo tanto, la fibra de Tetra Pak ®, está en general sobre los plásticos PET, PVC y poliéster, pero bajo la fibra de madera en casi la mitad. Esta conclusión es de suma importancia para poder categorizar con qué tipo de fibra se está trabajando. Debido a los resultados obtenidos, y la fácil adquisición de este material, se puede concluir que tiene mucho potencial como fibra para desarrollar materiales compuestos.

3. Metodología de diseño

En este tercer capítulo, se explica en qué consiste el Diseño, cuál es su importancia, y finalmente se expone cuál es el procedimiento a seguir o morfología del diseño, para obtener un producto exitoso según Morris Asimow.

3.1. Definición

El concepto “Metodología de diseño” no es fácil de definir, ya que en su origen se ve la subjetividad de su aplicar. El término “Método” se define como “Procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla”[26]. Y de la misma fuente, el diseño se define como “Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie”. Esta definición de diseño tiene un carácter muy acotado, y no refleja el interés ingenieril. Según George Dieter y Linda Schmidt en su libro “Engineering Design”, se define diseño como: “Design establishes and defines solutions to and pertinent structures for problems not solved before, or new solutions to problems which have previously been solved in a different way”. Esto decir que, establece y define las soluciones para problemas que no tenían solución, así como también nuevas soluciones a problemas que antes ya se había encontrado una solución.

Según Linda Schmidt y George Dieter, en el mismo libro citado anteriormente, la importancia del diseño se ve resumida en tres ideas:

- Las decisiones tomadas en el proceso de diseño cuestan muy poco en términos del costo global del producto, pero tienen un efecto importante en el costo del producto.
- No se puede compensar en la fase de manufactura los defectos introducidos en la fase de diseño.
- El proceso de diseño debe llevarse a cabo con el fin de desarrollar productos de calidad, costo competitivo y en el menor tiempo posible.

3.2. Proceso de diseño

La concepción del diseño y las bases de la metodología actual fueron pensadas por el educador e ingeniero en sistemas Morris Asimow. El cual fue el primero en dar una descripción completa del proceso de diseño, que él llamó morfología del diseño. En el siguiente esquema quedan resumidos las fases del diseño [27]:

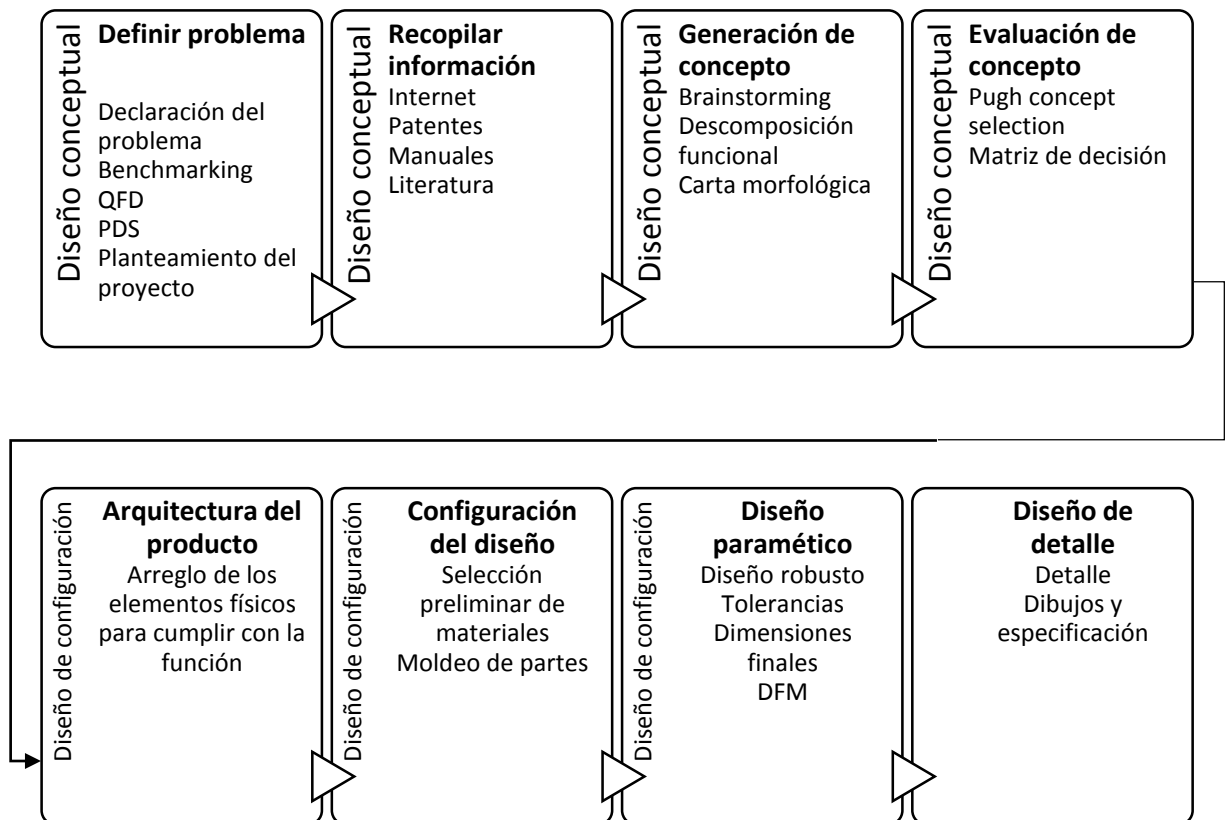


Figura 11: Diagrama de la metodología de diseño.

3.2.1. Primera Fase: Diseño conceptual

Proceso por el cual se inicia el diseño, hasta el punto en que se crean una serie de posibles soluciones y se escoge el mejor concepto. Esta es la fase con más variabilidad, ya que depende de los diseñadores y su creatividad el resultado óptimo. Esta primera fase se puede dividir en:

1. Identificación de las necesidades del cliente: La finalidad es recopilar y entender las necesidades del cliente.
2. Definición del problema: Se crean afirmaciones de lo que tiene que llevarse a cabo para satisfacer las necesidades del cliente. Para esto se analiza y estudia la competencia, así como clasificar las necesidades del cliente para relacionarlas con los requisitos de diseño.
3. Recopilación de información: Esta fase es fundamental para adquirir un amplio espectro de información. Esta fase es muy relevante para las fases posteriores.
4. Conceptualización: Consiste en crear un set de conceptos que pueden satisfacer el problema establecido.
5. Selección de concepto: El equipo de diseño evalúa iterativamente los posibles conceptos y escoge uno.
6. Refinamiento de las especificaciones de diseño: Con el concepto de diseño escogido anteriormente, se mejoran las especificaciones buscando puntos críticos, así como estudiar la relación entre el desempeño del concepto y su costo.
7. Revisión del diseño: La última parte del diseño conceptual, asegura que el diseño sea físicamente realizable y económicamente rentable.

3.2.2. Segunda Fase: Diseño de configuración

Esta fase es de decisiones, ya que las funciones antes escogidas deben poder llevarse a cabo. Por lo tanto, se toman decisiones como el tipo de material, tamaños, formas, compatibilidad espacial. Esta segunda fase se puede dividir en tres tareas principales:

1. Arquitectura del producto: El producto se divide en subsistemas. Se escoge qué componentes físicos convienen para realizar las funciones de diseño.
2. Diseño de configuración de partes y componentes: Se determinan las características fundamentales de las piezas, las cuales servirán para interactuar con otras y satisfacer las especificaciones de diseño.
3. Diseño paramétrico de partes: En esta parte del diseño de configuración, se establecen concretamente dimensiones y tolerancias. También se terminan de definir los materiales a utilizar en cada pieza, para que, junto con las tolerancias, el componente pueda desempeñar su función bajo condiciones variables.

3.2.3. Tercera Fase: Diseño de detalle

En esta última fase de diseño, se realiza una descripción completa de ingeniería, con el fin de que el producto diseñado sea llevado a cabo y probado. Se añaden las últimas especificaciones de diseño y se comparan algunas piezas diseñadas con lo que ofrecen los proveedores del mercado.

1. Se realizan planos técnicos de ingeniería para la fabricación del componente
2. Se realizan pruebas de verificación para prototipos, cuyo objetivo es chequear el comportamiento de los parámetros críticos.
3. Se desarrollan esquemas de montaje e instrucciones.
4. Se realiza una detallada especificación del producto, con todas las modificaciones realizadas.
5. Se toman decisiones referentes al origen de la pieza a utilizar, ya que esta puede ser comprada o fabricada.
6. Se realiza una evaluación de costos del producto.
7. Se realiza una revisión final, antes de que el producto sea enviado a fabricación.

4. Desarrollo del Diseño Conceptual

4.1. Definición del problema

Diseñar a nivel de configuración una máquina generadora de bloques o estructuras de construcción tipo ladrillos en base Tetra Pak ®. Estos bloques tienen la función de conformar muros de cerramiento o no estructurales. La finalidad de este es transformarse en una nueva opción para satisfacer las necesidades de reciclaje de Tetra Pak ®. Las materias primas utilizadas serán envases de Tetra Pak ® post consumo y aglomerantes. La máquina debe ser capaz de agregar algunas propiedades a los bloques del tipo: color, superficie resistente a la humedad, retardo de propagación del fuego, resistencia a las altas y bajas temperaturas, absorber vibraciones, entre otras.

Para realizar un trabajo más acabado, se realizarán dos diseños conceptuales, uno referente a la máquina generadora de bloques, y otro al bloque en sí mismo. Sin embargo, el tema principal a desarrollar es la máquina generadora de bloques.

4.2. Entendiendo el problema

Para poder observar físicamente, desarrollar y comprender mejor el tema, se realizaron visitas a industrias cuya materia prima principal es el desecho de Tetra Pak ®. Existen dos empresas chilenas que actualmente trabajan de forma constante con Tetra Pak ®, una es Teca Plak, cuyo producto final son planchas de aglomerado no estructural de triturado de Tetra Pak ®. La otra “empresa”, que mejor se define como una ONG

(organización no gubernamental), es Fenix brik. Proyecto impulsado por Maglio Aranda, sansano que buscó a través del reciclaje ayudar a los más necesitados de Viña del Mar. Su producto es un panel de características más artesanales que las de Teca Plak, cuyas funciones son múltiples. Una aplicación desarrollada hace años consiste en forrar o aislar viviendas sociales (media aguas). Se brinda este servicio a Adultos mayores de escasos recursos, ya que muchos quedan desvalidos del alero protector del municipio. Otra aplicación del panel consiste en servir como material cobertor de domos.



Figura 12: Domo en las instalaciones de Phoenix Brik. Su estructura es de fierros reciclados y su cubierta de planchas en base a triturado de Tetra Pak ®.

Existen diferencias considerables entre ambas empresas. Primero en tecnología y después en volúmenes de producción. Teca Plak tiene desde prensas hidráulicas semi automáticas, hasta trituradores industriales. Mientras que Maglio en Phoenix Brik construyó una prensa hidráulica artesanal y utiliza un triturador pequeño. Así mismo, Teca Plak está enfocada en la producción para venta, mientras que Phoenix Brik genera paneles con fines sociales a baja escala. Con respecto a la cantidad de trabajadores, Teca Plak tiene turnos 2 veces al día de 2 personas aproximadamente. Mientras que Phoenix Brik tiene un solo turno en la mañana, y trabaja con jóvenes con discapacidad intelectual en alianzas con colegios especiales, lo que demuestra que el carácter social de la ONG. Ambas organizaciones, a pesar de sus grandes diferencias, fueron muy nutritivas para este trabajo de título.

Por otro lado, respecto al producto final estudiado por esta tesis, se busca que el ladrillo o bloque tenga características atractivas para un abanico amplio de clientes. Inicialmente se pensó desarrollar un producto que utilizaran personas de un rango entre 20 y 65. Pero después se pensó en abarcar un mercado mucho más competitivo y reducido, los juegos y juguetes para niños. Todos cuando niños juegan a realizar construcciones e instalaciones con elementos improvisados del hogar. Es aquí donde hay un gran nicho de negocios y creatividad. No existe un juguete que se haya desarrollado para satisfacer esta necesidad constructiva del niño y niña. Para esto se busca desarrollar un bloque que sea de fácil manipulación e instalación para el infante. También debe ser atractivo visualmente y cumplir con las normas de toxicidad.

4.2.1. Encuestas a personas relacionadas con el concepto a desarrollar

Para poder profundizar los conceptos e ideas, se realizaron encuestas a distintos tipos de personas según su función. Todas se relacionan de alguna forma o con el reciclaje de Tetra Pak ®, o con construcción, desde una de las empresas antes mencionadas recicladoras de Tetra Pak ®, pasando por un arquitecto y constructor civil, hasta un albañil.

Las personas entrevistadas se reflejan en el siguiente cuadro, de las cuales algunas se guardan la identidad para respetar su decisión de anonimato:

Tabla 9: Personas encuestadas para recopilar las necesidades del cliente.

Empresa o rubro	Nombre o Iniciales	Profesión o cargo
Teca Plak	Jaime Elgueta	Gerente de Operaciones
SCL	V. M.	Maestro Albañil
Servicios de Arquitectura	J. M.	Arquitecto
Moller y Pérez Cotapo S.A.	N. R.	Ingeniero en construcción y Arquitecto

Con el formato de dos tipos de encuesta, una acerca del tipo de empresa (en Teca Plak) y otra a los especialistas (albañil, arquitecto, constructor), se llevan a cabo con el fin de tener una visión más amplia bajo distintos enfoques. La encuesta realizada a la empresa Teca Plak, aborda primero todas las características relacionadas con el producto que se genera, para después finalizar con el proceso productivo.

Respecto a la encuesta a los especialistas, inicialmente se pregunta acerca del ladrillo común de arcilla. Después se aborda el tema de las características relevantes que debe tener un ladrillo para ser usado o facilitar su uso. Las respuestas se encuentran en el anexo 11.2.

4.3. Listado de Atributos

Gracias a la investigación en base a encuestas y bibliográficos se lograron identificar atributos o necesidades que deben satisfacer ambos diseños conceptuales. Los atributos recopilados referentes a la máquina son:

1. Permita aplicar material que reduzca la probabilidad de propagación de fuego
2. Permita aplicar material que mejore aislación térmica
3. Permita aplicar material que favorezca la reducción del ruido exterior
4. Use como materia prima envases de desecho de Tetra Pak ® y elemento aglomerante
5. Permita aplicar material que mejore la resistencia al agua
6. Tenga bajo costo de operación
7. Tenga bajo costo de mantenimiento

8. Permita un fácil mantenimiento
9. Genere bajo ruido
10. Permita reciclar el material no utilizado o desecho
11. Tenga las superficies calientes aisladas
12. Tenga bajo costo de equipo
13. Requiera no más de tres personas simultáneamente para su funcionamiento
14. Modifique la superficie del producto para obtener un acabado superficial poroso
15. El desplazamiento producto entre cada fase o función principal es automático
16. Permita la instalación de diferentes moldes
17. Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple.
18. Fácil de limpiar
19. Genere un producto que no supere 0,45 [US\$] como costo de producción
20. Permite almacenar la materia prima
21. Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)
22. Es posible controlar la temperatura del proceso
23. Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas
24. Se comande con un sistema de control
25. Tenga un ciclo continuo de funcionamiento
26. Incorpore un contador de ladrillos generados
27. Genere varios ladrillos simultáneamente
28. Permita adicionar colorantes a la mezcla
29. Permita el reemplazo de componentes dañados (piezas simples para cambio a bajo costo)
30. Posea un sistema de dosificación de la materia prima
31. Posea un sistema de parada de emergencia
32. Que genere bloque o ladrillo

Por otro lado, las características encontradas respecto al producto o bloque son:

1. Que sea económico (no más de 0,45 [\$/un])
2. Se ensamble fácilmente
3. Tenga alta relación resistencia/peso
4. Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones
5. Tenga distintas formas compatibles según requerimiento
6. Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)
7. Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción
8. Pueda ser pintado
9. Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos
10. Mitigue la propagación de fuego
11. Sea resistente al sol y el calor
12. Sea resistente a bajas temperaturas
13. No produzca gases o componentes tóxicos
14. Absorba vibraciones acústicas
15. Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales
16. Después de generarse la pared, permita el desarme del muro si se desea

17. Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería
18. No requieran cemento para unirse
19. Deben tener como dimensiones máximas: 300x150x100 [mm]
20. Sea de geometría regular en sus caras
21. Dimensionalmente, no tenga tanta diferencia entre uno y otro (se cumpla tolerancia dimensional IT especificada)
22. Se genere como una pre-pared o varios ladrillos ya unidos. Una configuración de ladrillos ya hecha que permita la integración de más ladrillos individuales
23. Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico
24. Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping
25. Permita ser cortado
26. Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio

4.4. Objetivos, Restricciones y Funciones

Los atributos anteriores, se deben clasificar en objetivos, restricciones y funciones. Los objetivos son características propias que el producto espera cumplir. En tanto, las restricciones son límites que el diseño debe cumplir para cumplir con dichas especificaciones. Finalmente, las funciones, son atributos que simbolizan acciones, que realiza el diseño, para que cumpla con su funcionalidad general. La clasificación de los atributos para la máquina es:

Tabla 10: Objetivos de diseño para la máquina generadora de bloques.

Objetivos
Tenga bajo costo de operación
Tenga bajo costo de mantenimiento
Fácil mantenimiento
Genere bajo ruido
Tenga las superficies calientes aisladas
Tenga bajo costo de equipo
Permita la instalación de diferentes moldes
Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple
Fácil de limpiar
Permite almacenar la materia prima
El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático
Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)
Es posible controlar la temperatura del proceso
Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas
Se comande con un sistema de control
Tenga un ciclo continuo de funcionamiento

Incorpore un contador de ladrillos generados
Genere varios ladrillos simultáneamente
Permita el reemplazo de componentes dañados
Posea un sistema de dosificación de la materia prima
Posea sistema de parada de emergencia

Tabla 11: Restricciones para la máquina generadora de bloques de Tetra Pak ®.

Restricciones
Use como materia prima envases de desecho de Tetra Pak ® y elemento aglomerante
Genere un producto que no supere 0,45 [US\$] como costo de producción
Requiera no más de tres personas simultáneamente para su funcionamiento

Tabla 12: Funciones para la máquina generadora de bloques de Tetra Pak ®.

Funciones
Permita aplicar material que reduzca la probabilidad de propagación de fuego
Permita aplicar material que mejore aislación térmica
Permita aplicar material que favorezca la reducción del ruido exterior
Permita aplicar material que mejore la resistencia al agua
Permita reciclar el material no utilizado o desecho
Modifique la superficie del producto para obtener un acabado superficial poroso
Permita adicionar colorantes a la mezcla
Que genere bloque o ladrillo

Si se clasifican los atributos para el ladrillo o bloque se obtiene:

Tabla 13: Objetivos para el bloque generado por la máquina.

Objetivos
Tenga alta relación resistencia/peso
Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones
Tenga distintas formas compatibles según requerimiento
Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)
Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción
Pueda ser pintado
Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos
Mitigue la propagación de fuego
Sea resistente al sol y el calor

Objetivos
Sea resistente a bajas temperaturas
No produzca gases o componentes tóxicos
Absorba vibraciones acústicas
Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales
Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería
No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse
Sea de geometría regular en sus caras
Se genere como una pre-pared o varios ladrillos ya unidos. Una configuración de ladrillos ya hecha que permita la integración de más ladrillos individuales
Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico
Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping
Permita ser cortado
Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio

Tabla 14: Restricciones para el bloque generado por la máquina.

Restricciones
Deben tener como dimensiones máximas: 300x150x100 [mm]
Dimensionalmente, no tenga tanta diferencia entre uno y otro (tolerancias IT)
Que sea económico (no más de 0,45 [\$/un])

Tabla 15: Funciones para el bloque generado por la máquina.

Funciones
Se ensamble fácilmente
Después de generarse la pared, permita el desarme del muro si se desea

4.5. Categorizar los objetivos de diseño

Para poder comprender mejor la naturaleza de los objetivos, se reúnen buscando similitudes. Las categorías para la máquina son: Desempeño, seguridad, costo y control de operación. La categorización se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16: *Objetivos de la máquina clasificados.*

Máquina			
Desempeño	Seguridad	Costo	Control de operación
Fácil mantenimiento	Genere bajo ruido	Tenga bajo costo de operación	Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)
Permita la instalación de diferentes moldes	Tenga las superficies calientes aisladas	Tenga bajo costo de mantenimiento	Es posible controlar la temperatura del proceso
Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple	Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas	Tenga bajo costo de equipo	Se comande con un sistema de control
Fácil de limpiar	Posea sistema de parada de emergencia		Incorpore un contador de ladrillos generados
Permite almacenar la materia prima			
El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático			
Tenga un ciclo continuo de funcionamiento			
Genere varios ladrillos simultáneamente			
Permita el reemplazo de componentes dañados			
Posea un sistema de dosificación de la materia prima			

Respecto a la clasificación de los objetivos del ladrillo, se obtienen solo 3 categorías expuestas con sus objetivos en la siguiente tabla:

Tabla 17: *Objetivos del ladrillo clasificados.*

Ladrillo		
Desempeño	Seguridad	Apariencia
Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	Tenga alta relación resistencia/peso	Pueda ser pintado
Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	No produzca gases o componentes tóxicos	Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos
Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	Mitigue la propagación de fuego
Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio	Sea resistente al sol y el calor
Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería		Sea resistente a bajas temperaturas
No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse		Absorba vibraciones acústicas
Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico		Sea de geometría regular en sus caras
Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping		
Permita ser cortado		
Se genere como una pre-pared o varios ladrillos ya unidos. Una configuración de ladrillos ya hecha que permita la integración de más ladrillos individuales		

4.6. Jerarquización de Objetivos

A continuación, las categorías de objetivos se comparan y califican según la importancia que le entrega el diseñador. Después se comparan entre sí los objetivos de cada categoría, para encontrar los objetivos más relevantes en cada una.

Para evaluar los objetivos y categorías se utiliza un método de escala relativa de importancia, el cual, a partir de la importancia entre dos elementos, jerarquiza y genera un valor. Para la máquina se obtiene la siguiente jerarquía:

Tabla 18: Objetivos de la máquina jerarquizados.

Máquina			
1. Desempeño	4. Control de operación	2. Seguridad	3. Costo
1.1 Permita la instalación de diferentes moldes	1.1 Se comande con un sistema de control	2.1 Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas	3.1 Tenga bajo costo de operación
1.2 Genere varios ladrillos simultáneamente	1.2 Es posible controlar la temperatura del proceso	2.2 Posea sistema de parada de emergencia	3.2 Tenga bajo costo de mantenimiento
1.3 Tenga un ciclo continuo de funcionamiento	1.3 Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)	2.3 Tenga las superficies calientes aisladas	3.3 Tenga bajo costo de equipo
1.4 Posea un sistema de dosificación de la materia prima	1.4 Incorpore un contador de ladrillos generados	2.4 Genere bajo ruido	
1.5 El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático			
1.6 Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple			
1.7 Permite almacenar la materia prima			
1.8 Permita el reemplazo de componentes dañados			
1.9 Fácil mantenimiento			
1.10 Fácil de limpiar			

En el siguiente cuadro se observa la jerarquía obtenida para el bloque:

Tabla 19: Objetivos del bloque jerarquizados.

Bloque		
1. Desempeño	2. Seguridad	3. Apariencia
1.1 Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	2.1 Tenga alta relación resistencia/peso	3.1 Sea de geometría regular en sus caras
1.2 Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	2.2 No produzca gases o componentes tóxicos	3.2 Pueda ser pintado
1.3 No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse	2.3 Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	3.3 Sea resistente al sol y el calor
1.4 Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería	2.4 Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio	3.4 Sea resistente a bajas temperaturas
1.5 Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico		3.5 Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos
1.6 Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping		3.6 Mitigue la propagación de fuego
1.7 Permita ser cortado		3.7 Absorba vibraciones acústicas
1.8 Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)		
1.9 Se genere pre-pared (varios ladrillos ya unidos)		
1.10 Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción		

Los resultados numéricos de la aplicación de la escala relativa de importancia de (Saaty, 1989) para la máquina y el bloque son:

Tabla 20: Objetivos de la máquina valorizados.

Máquina			
1. Desempeño (0,498)	4. Control de operación (0,174)	2. Seguridad (0,17)	3. Costo (0,16)
1.1 Permita la instalación de diferentes moldes 0,121	1.1 Se comande con un sistema de control 0,071	2.1 Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas 0,074	3.1 Tenga bajo costo de operación 0,093
1.2 Genere varios ladrillos simultáneamente 0,104	1.2 Es posible controlar la temperatura del proceso 0,046	2.2 Posea sistema de parada de emergencia 0,045	3.2 Tenga bajo costo de mantenimiento 0,05
1.3 Tenga un ciclo continuo de funcionamiento 0,074	1.3 Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.) 0,046	2.3 Tenga las superficies calientes aisladas 0,037	3.3 Tenga bajo costo de equipo 0,018
1.4 Posea un sistema de dosificación de la materia prima 0,05	1.4 Incorpore un contador de ladrillos generados 0,012	2.4 Genere bajo ruido 0,01	
1.5 El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático 0,043			
1.6 Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple 0,035			
1.7 Permite almacenar la materia prima 0,026			
1.8 Permita el reemplazo de componentes dañados 0,02			

1.9 Fácil mantenimiento 0,016			
1.10 Fácil de limpiar 0,008			

Tabla 21: Objetivos del bloque valorizados.

Bloque		
1. Desempeño (0,529)	2. Seguridad (0,294)	3. Apariencia (0,176)
1.1 Tenga distintas formas compatibles según requerimiento 0,124	2.1 Tenga alta relación resistencia/peso 0,129	3.1 Sea de geometría regular en sus caras 0,048
1.2 No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse 0,096	2.2 No produzca gases o componentes tóxicos 0,104	3.2 Sea resistente al sol y el calor 0,039
1.3 Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería 0,096	2.3 Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales 0,045	3.3 Pueda ser pintado 0,035
1.4 Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones 0,053	2.4 Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio 0,017	3.4 Sea resistente a bajas temperaturas 0,024
1.5 Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico 0,05		3.5 Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos 0,015
1.6 Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping 0,034		3.6 Mitigue la propagación de fuego 0,012
1.7 Se genere una pre-pared (varios ladrillos ya unidos) 0,031		3.7 Absorba vibraciones acústicas 0,004
1.8 Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble) 0,026		
1.9 Permita ser cortado 0,013		
1.10 Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción 0,007		

Como se puede observar, la categoría más relevante para la máquina y ladrillo es el desempeño. Sin embargo, para la máquina la categoría menos relevante es el costo, y para el ladrillo es apariencia. La diferencia entre “Control de operación”, “Seguridad” y “Costo” en el análisis de la máquina es mínimo, lo que valida la importancia de las tres categorías. Otra observación relevante es que la categoría de seguridad quedó segundo lugar y tercer lugar (empatado con control de operación en Máquina). Esto se debe principalmente a que en la máquina lo relevante es cuidar del operador, mientras que para el ladrillo lo importante es cuidar del usuario, sobre todo si es un niño o niña.

4.7. Análisis funcional

Inicialmente consiste en desarrollar dos diagramas. El primero, llamado “Caja Negra”, simboliza el volumen de control del objeto a diseñar. Por lo tanto, a este volumen entran energía y objetos, así como también salen de él. El segundo diagrama, llamado “Caja transparente o blanca”, simboliza no solo un volumen de control y los flujos entrantes y salientes, sino que también las interacciones internas entre los flujos. Estas últimas simbolizan las funciones internas o subfunciones del objeto a diseñar. La caja Negra y Blanca de la máquina se muestra en los siguientes diagramas:

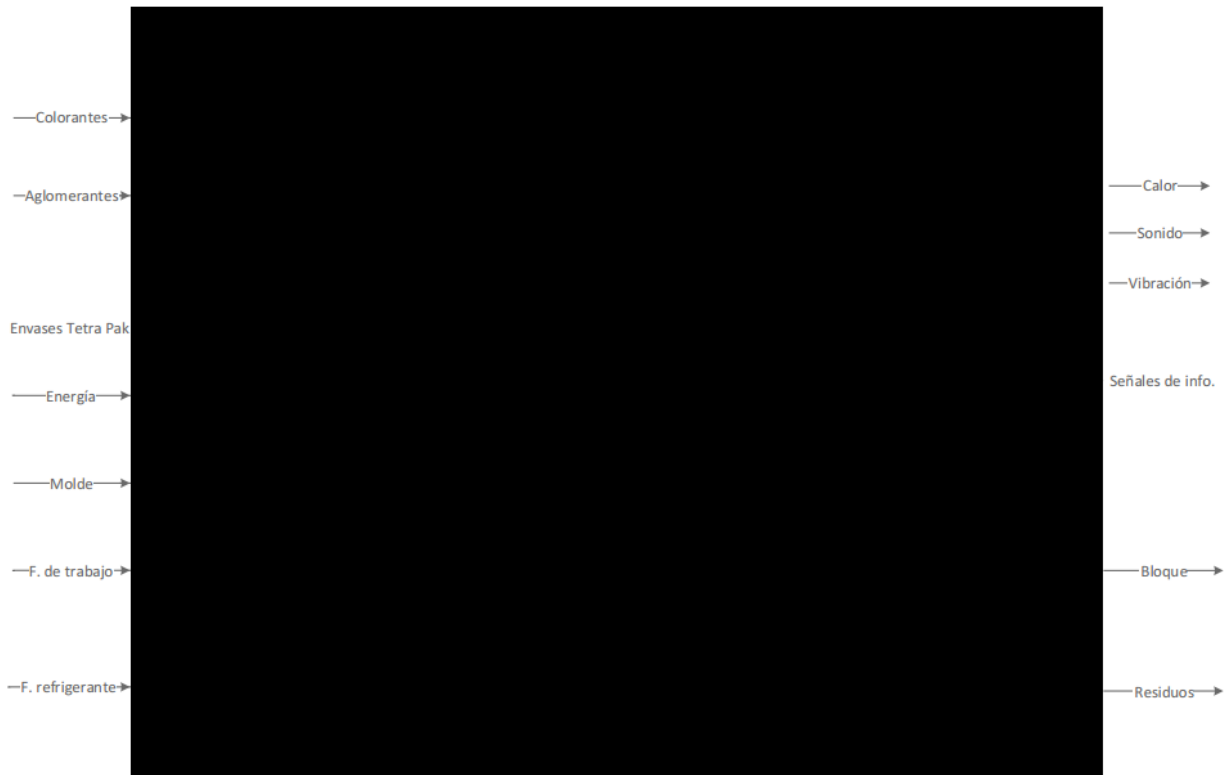


Figura 13: Caja negra de la máquina generadora de bloques.

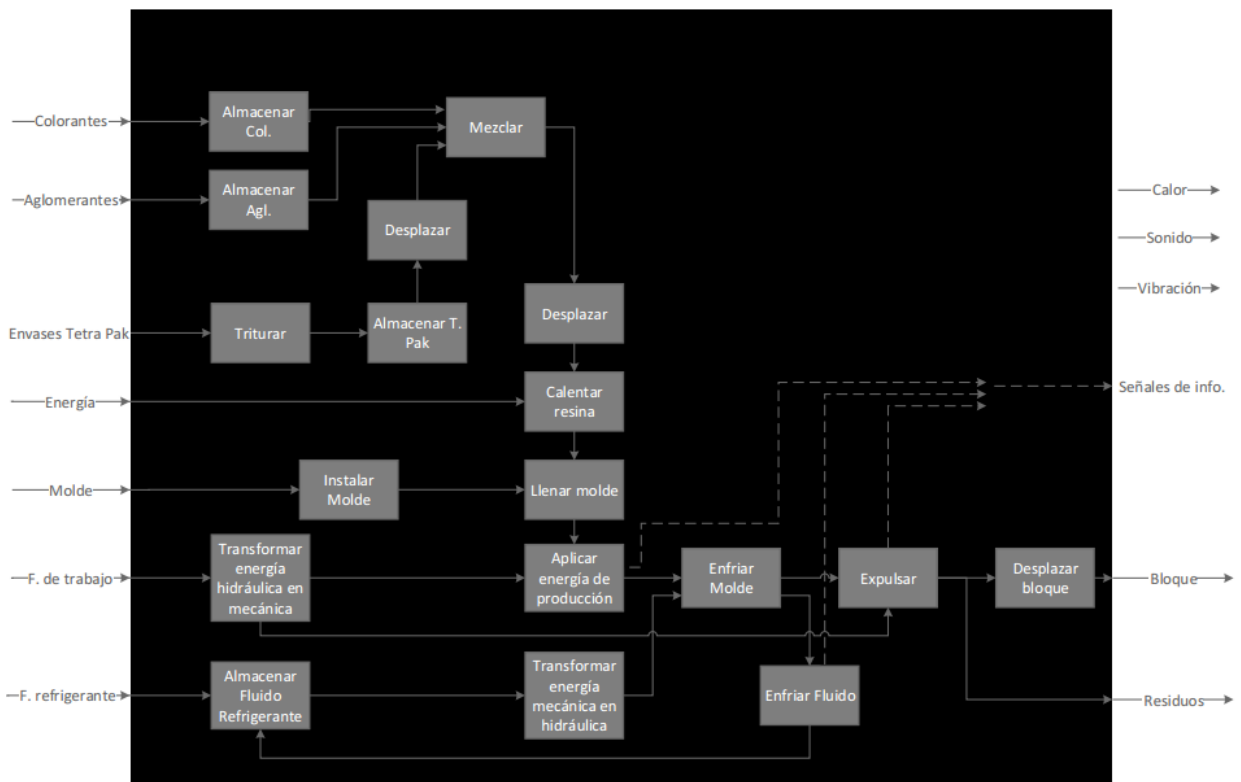


Figura 14: Caja transparente de la máquina generadora de bloques.

4.8. Descripción de funciones de la Máquina

1. Almacenar colorante: Dado que el colorante se puede encontrar en estado líquido o pasta, se necesita una especie de estanque con una válvula de control.
2. Almacenar aglomerante: Este insumo también se debe confinar en un estanque, ya que su fase es líquida.
3. Triturar: Un triturador debe encargarse de generar pequeñas hojuelas a partir de una caja de Tetra Pak ®.
4. Almacenar Tetra Pak ®: Contener el triturado de Tetrapak
5. Desplazar triturado de Tetra Pak ®: Desplazar el triturado desde el contenedor hasta el mezclador.
6. Mezclar Colorante con aglomerante y triturado
7. Desplazar mezcla de colorante, aglomerante y triturado
8. Calentar resina: Calentar mezcla para que alcance la temperatura de consolidación (temperatura de transición vítrea)
9. Llenar Molde: Consiste en llenar la cavidad para contener el molde e iniciar el proceso de formado del ladrillo.
10. Aplicar energía de producción: Aumentar, por ejemplo: Presión de compactación, aumentar presión de bombeo, etc. Puede estar ligado a llenar molde.
11. Transformar energía hidráulica en mecánica: Aplicar energía al aceite oleo hidráulico para poder desplazar un eyector que expulse el ladrillo de su cavidad.
12. Almacenar fluido refrigerante: Contener fluido refrigerante que se usa para extraer el calor de la mezcla o molde.
13. Transformar energía mecánica en hidráulica: Aplicar energía a fluido refrigerante para que se desplace y absorba calor.
14. Enfriar molde: Transferencia de calor entre molde o mezcla, y fluido refrigerante.
15. Enfriar fluido: Una vez se haya extraído el calor del objeto a enfriar, se debe extraer el calor desde el mismo fluido refrigerante, con el fin de que siga enfriando el objetivo.
16. Expulsar bloque: Retirar bloque de su cavidad o molde.
17. Desplazar bloque: Una vez expulsado el bloque, desplazarlo a un lugar fuera del molde para continuar el ciclo productivo.

4.9. Análisis de benchmarking

En esta fase del diseño, se busca comparar los objetivos del producto antes establecidos. En el mercado existen varios productos similares al ladrillo que se desea obtener. Tienen en común, ya sea la forma o el origen de sus materias primas.

Tabla 22: Benchmarking previo de los objetivos de la máquina.



	Graco Ram Hidráulica Semiautomática	CEB Press
Objetivos Máquina		
Permita la instalación de diferentes moldes	5	1
Genere varios ladrillos simultáneamente	5	1
Tenga bajo costo de operación	4	4
Tenga un ciclo continuo de funcionamiento	3	3
Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas	2	3
Se comande con un sistema de control	4	5
Posea un sistema de dosificación de la materia prima	5	5
Tenga bajo costo de mantenimiento	2	4
Es posible controlar la temperatura del proceso	1	1
Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)	1	4
Posea sistema de parada de emergencia	5	5
El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático	3	3
Tenga las superficies calientes aisladas	1	1
Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple		1
Permite almacenar la materia prima	1	1
Permita el reemplazo de componentes dañados	3	5
Tenga bajo costo de equipo	2	5
Fácil mantenimiento	2	4
Incorpore un contador de ladrillos generados	1	1
Genere bajo ruido	4	4
Fácil de limpiar	4	4
TOTAL	58	65

Tabla 23: Benchmarking previo del Ladrillo generado por la máquina.

Objetivos Ladrillo	Ladrillo de arcilla 	Ladrillo de adobe reciclable 	Tektan 	OSB 
Tenga alta relación resistencia/peso	5	5		
Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	3	5	1	1
No produzca gases o componentes tóxicos	5	5	4	5
No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse	1	1	5	5
Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería	1	3	2	2
Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	3	3	2	5
Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico	3	5	3	3
Sea de geometría regular en sus caras	3	3	4	5
Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	5	5	1	1
Sea resistente al sol y el calor				
Pueda ser pintado	5	5	4	5
Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping	3	4	3	3
Se genere una pre-pared (varios ladrillos ya unidos)	1	1	1	1
Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	5	2	1	1
Sea resistente a bajas temperaturas				
Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo	1	3	4	4
Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos			5	
Permita ser cortado	4	1	5	5
Mitigue la propagación de fuego			4	
Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	5	5	5	5
Absorba vibraciones acústicas			4	
TOTAL	53	56	58	51

4.10. Estableciendo especificaciones de diseño en ingeniería

- Especificaciones máquina

Tabla 24: Especificaciones de diseño de la máquina.

Categoría	Especificación	Valor	Parámetro
Geometría	Altura	3 [m]	Mínimo
		5 [m]	Máximo
	Largo	5 [m]	Mínimo
		10 [m]	Máximo
	Ancho	5 [m]	Mínimo
		10 [m]	Máximo
Costos	Costo de fabricación	0,45 [US\$/un]	Máximo
	Costo de máquina	70.000 [US\$/máq]	Mínimo
		140.000 [US\$/máq]	Máximo
Energía	Suministro eléctrico	220 [V]	Idéntico
	Energía de producción	No especificada	No aplicable
Performance	Cantidad bloques generados simultáneos	4	Mínimo
		10	Máximo
	Número de operarios	3	Máximo
	Materia Prima	Envases de Tetra Pak ®	No aplicable
		Resina	No aplicable
	Capacidad	240 [un/hr]	Mínimo
	T consolidación Resina	No especificada [°C]	No aplicable

- Especificaciones Ladrillo

Tabla 25: Especificaciones de diseño del ladrillo.

Categoría	Especificación	Valor	Parámetro
Geometría	Altura	100 [mm]	Mínimo
		150 [mm]	Máximo
	Largo	200 [mm]	Mínimo
		300 [mm]	Máximo
	Ancho	100 [mm]	Mínimo
		150 [mm]	Máximo
	IT Altura	±3 [mm]	No aplicable
	IT Largo	±5 [mm]	No aplicable
IT Ancho	±3 [mm]	No aplicable	
Fuerza	Peso	No especificado [kg]	Máximo
Costos	Costo de fabricación	0,45 [US\$/un]	Máximo
Seguridad	Límite para sustancias CMR	No especificada	Máximo
	Absorción de Agua	14 [%]	Máximo
	Radio de Bordes	No especificada	No aplicable
	Contenido de plomo en colorante (16 CFR 1303.2)	0,009% (90 [ppm]) de peso	Máximo
Performance	Edad para uso	8 [años]	Mínimo

4.11. Matriz de objetivos-especificaciones

- MAQUINA

Tabla 26: Matriz objetivos- especificaciones para la máquina.

Peso Ponderado	Objetivos		Especificaciones	
	Objetivo	Especificación	Objetivo	Especificación
0,121	Permita la instalación de diferentes moldes			
0,104	Genere varios ladrillos simultáneamente			
0,093	Tenga bajo costo de operación			
0,074	Tenga un ciclo continuo de funcionamiento			
0,074	Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas			
0,071	Se comande con un sistema de control			
0,050	Posea un sistema de dosificación de la materia prima			
				3<Altura<5 [m]
				5<Largo<10 [m]
				5<Ancho<10 [m]
			•	Energía de producción
			•	Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]
			•	70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]
				Suministro eléctrico 220 [V]
			•	4<N°Bloques Generados simul.<10
			•	N° de operarios max. 3
			•	Materia prima Envases de Tetra Pak ®
			•	Materia prima Resina
			•	Capacidad min. 240 [un/hr]
				T consolidación Resina

Peso Ponderado	Objetivos		Especificaciones	
	0,050	Tenga bajo costo de mantenimiento		
0,046	Es posible controlar la temperatura del proceso			
0,046	Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)			
0,045	Posea sistema de parada de emergencia			
0,043	El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático			
0,037	Tenga las superficies calientes aisladas			
0,035	Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple			
				3<Altura<5 [m]
				5<Largo<10 [m]
				5<Ancho<10 [m]
				Energía de producción
				• Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]
				• 70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]
				• Suministro eléctrico 220 [V]
				• 4<N°Bloques Generados simul.<10
				• N° de operarios max. 3
				• Materia prima Envases de Tetra Pak ®
				• Materia prima Resina
				• Capacidad min. 240 [un/hr]
				• T consolidación Resina

Peso Ponderado	Objetivos		Especificaciones	
	0,026	Permite almacenar la materia prima		
0,020	Permita el reemplazo de componentes dañados			
0,018	Tenga bajo costo de equipo			
0,016	Fácil mantenimiento			
0,012	Incorpore un contador de ladrillos generados			
0,010	Genere bajo ruido			
0,008	Fácil de limpiar			
				• 3<Altura<5 [m]
				• 5<Largo<10 [m]
				• 5<Ancho<10 [m]
				Energía de producción
				Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]
				• 70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]
				Suministro eléctrico 220 [V]
				• 4<N°Bloques Generados simul.<10
				N° de operarios max. 3
				• Materia prima Envases de Tetra Pak ®
				• Materia prima Resina
				• Capacidad min. 240 [un/hr]
				T consolidación Resina

Se puede observar que el objetivo que tiene mayor peso ponderado, es el que menos se relaciona con las especificaciones de diseño. Por otro lado, se obtiene que el objetivo de generar varios ladrillos simultáneamente se relaciona con varias especificaciones de diseño, al igual que “tenga un ciclo continuo de funcionamiento”, “posea un sistema de dosificación

de la materia prima”, “sistema de control” y “desplazamiento automático del sistema entre fases”.

Los objetivos menos significativos en relación con las especificaciones son: “partes en movimiento se encuentran completamente cerradas”, “sistema de parada de emergencia”, “instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple”, “permita el reemplazo de componentes dañados” “Fácil mantenimiento” y “generar poco ruido”.

- LADRILLO

Tabla 27: Matriz objetivos- especificaciones para el bloque.

Peso Ponderado	Objetivos		Especificaciones	
	Objetivos	Especificaciones	Objetivos	Especificaciones
0,1285	Tenga alta relación resistencia/peso			
0,1239	Tenga distintas formas compatibles según requerimiento			
0,1038	No produzca gases o componentes tóxicos			
0,0964	No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse			
0,0956	Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería			
0,0535	Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones			
0,0500	Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico			
				• 100<Altura<155 [mm]
				• 200<Largo<300 [mm]
				• 100<Ancho<150 [mm]
				IT Altura ±3 [mm]
				IT Largo ±5 [mm]
				IT Ancho ±3 [mm]
				• Peso máximo
				• Costo de fabricación Max. 0,45 [US\$/un]
				• Límite para sustancias CMR
				• Absorción de Agua max. 14 [%]

Por otro lado, de los objetivos con menos calificación relativa, los que más se relacionan con las especificaciones de diseño son: “permita ser cortado”, “Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción”. Y de estos mismos, los que menos se relacionan con las especificaciones son: “resistente a bajas temperaturas”, “mitigue la propagación del fuego”, “absorba vibraciones acústicas”.

4.12. Casa de la calidad

4.12.1. QFD Máquina

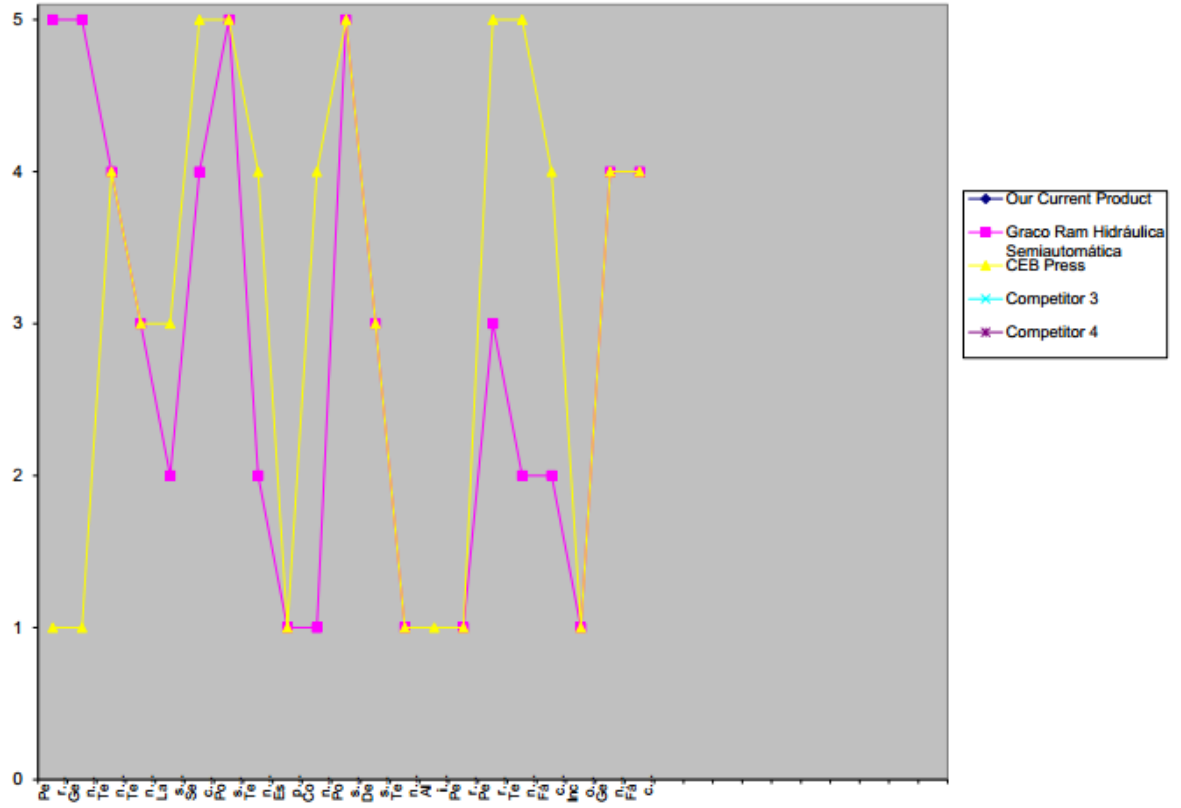
- Requerimientos de los clientes

Tabla 28: QFD Máquina parte 1.

Row Number	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Weight / Importance	Relative Weight	Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best)					
				Our Current Product	Graco Ram Hidráulica Semiautomática	CEB Pres s	Competitor 3	Competitor 4	Competitor 5
1	Permita la instalación de diferentes moldes	0,121367483	12,13		5	1			
2	Genere varios ladrillos simultáneamente	0,104155081	10,41		5	1			
3	Tenga bajo costo de operación	0,093065567	9,30		4	4			
4	Tenga un ciclo continuo de funcionamiento	0,07381746	7,38		3	3			
5	Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas	0,073799713	7,38		2	3			
6	Se comande con un sistema de control	0,070803218	7,06		4	5			
7	Posea un sistema de dosificación de la materia prima	0,050451267	5,04		5	5			
8	Tenga bajo costo de mantenimiento	0,050429849	5,04		2	4			
9	Es posible controlar la temperatura del proceso	0,045910542	4,59		1	1			
10	Control de la energía de fabricación del ladrillo	0,045909542	4,59		1	4			
11	Posea sistema de parada de emergencia	0,045114858	4,51		5	5			
12	Desplazamiento entre fases es automático	0,043351739	4,33		3	3			
13	Tenga las superficies calientes aisladas	0,036917356	3,69		1	1			
14	Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple	0,035047273	3,50			1			
15	Permite almacenar la materia prima	0,026140337	2,61		1	1			
16	Permita el reemplazo de componentes dañados	0,019816412	1,98		3	5			
17	Tenga bajo costo de equipo	0,01845331	1,84		2	5			
18	Fácil mantenimiento	0,015598129	1,56		2	4			
19	Incorpore un contador de ladrillos generados	0,012044557	1,20		1	1			
20	Genere bajo ruido	0,010281377	1,03		4	4			
21	Fácil de limpiar	0,008355131	0,83		4	4			

- Análisis competitivo

Tabla 29: QFD Máquina parte 2.



- QFD

Tabla 30: QFD Máquina parte 3.

Relationship Between Requirements:
9 - Strong 3 - Moderate 1 - Weak

Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9
Requirement Weight	115,95	115,95	115,95	142,03	236,77	764,51	34,932	275,45	279,01	107,86	107,86	280,37	74,498
Relative Weight	4,37	4,37	4,37	5,36	8,93	28,84	1,32	10,39	10,52	4,07	4,07	10,58	2,81
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	7	7	7	4	8	8	0	8	7	5	5	8	6
Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	▼	▼	▼	x	▼	▼	x	▲	▼	x	x	▲	x
Target or Limit Value	5	10	10	Ind.	0,45	140	220	10	3	Tetra Pak	Resina	240	Ind.
Row Number													
Max Relationship Value in Row													
Relative Weight													
Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	3<Altura<5 [m]	5<Largor<10 [m]	5<Ancho<10 [m]	Energía de producción	Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]	70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]	Suministro eléctrico 220 [V]	4<NºBloques Generados simul.<10	Nº de operarios max. 3	Materia prima Envases de Tetra Pak	Materia prima Resina	Capacidad min. 240 [un/hr]	T consolidación Resina [°C]
Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")													
1	9	12,13	Permita la instalación de diferentes moldes					9					
2	9	10,41	Genere varios ladrillos simultáneamente			9	9	9	9	3		9	
3	9	9,30	Tenga bajo costo de operación				9			9	3	3	
4	9	7,38	Tenga un ciclo continuo de funcionamiento	9	9	9		9	3	9			3
5	9	7,38	Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas					9					
6	9	7,06	Se comande con un sistema de control			1		9	3	9			3
7	9	5,04	Posea un sistema de dosificación de la materia prima					9		9	9	9	
8	9	5,04	Tenga bajo costo de mantenimiento				9	3					
9	9	4,59	Es posible controlar la temperatura del proceso					9	3	3	1		9
10	9	4,59	Control de la energía de fabricación del ladrillo			9		9		9			9
11	9	4,51	Posea sistema de parada de emergencia					9					
12	9	4,33	Desplazamiento entre fases es automático	3	3	3		9		9	3		3
13	9	3,69	Tenga las superficies calientes aisladas					9				3	3
14	9	3,50	Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple					9					
15	9	2,61	Permite almacenar la materia prima	9	9	9		9			9	9	9
16	9	1,98	Permita el reemplazo de componentes dañados					9					
17	9	1,84	Tenga bajo costo de equipo	3	3	3		9		9	9		9
18	9	1,56	Fácil mantenimiento					9					
19	9	1,20	Incorpore un contador de ladrillos generados					9		3			3
20	9	1,03	Genere bajo ruido					9					
21	9	0,83	Fácil de limpiar	9	9	9							

- Techo de la QFD

Tabla 31: QFD Máquina parte 4.

Correlations: Positive (+) or Negative (-)

Row Number	Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	3<Altura<5 [m]	5<Largo<10 [m]	5<Ancho<10 [m]	Energía de producción	Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]	70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]	Suministro eléctrico 220 [V]	4<N°Bloques Generados simul.<10	N° de operarios max. 3	Materia prima Envases de Tetra Pak	Materia prima Resina	Capacidad min. 240 [un/hr]	T consolidación Resina [°C]
1	3<Altura<5 [m]													
2	5<Largo<10 [m]													
3	5<Ancho<10 [m]													
4	Energía de producción													
5	Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]													
6	70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]	+	+	+	+	+								
7	Suministro eléctrico 220 [V]													
8	4<N°Bloques Generados simul.<10				-	+	-							
9	N° de operarios max. 3								.					
10	Materia prima Envases de Tetra Pak													
11	Materia prima Resina													
12	Capacidad min. 240 [un/hr]				-	+	-		+	-				
13	T consolidación Resina [°C]					

- Resumen

Tabla 32: QFD Máquina parte 5.

Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	Target or Limit Value	Max Relationship Value	Requirement Weight	Relative Weight (Relative Importance)
1	3<Altura<5 [m]	▼	5	9	115,95	4,37%
2	5<Largo<10 [m]	▼	10	9	115,95	4,37%
3	5<Ancho<10 [m]	▼	10	9	115,95	4,37%
4	Energía de producción	x	Ind.	9	142,03	5,36%
5	Costo de fabricación max 0,45 [US\$/un]	▼	0,45	9	236,77	8,93%
6	70K<Costo de máquina<140K [US\$/maq]	▼	140	9	764,51	28,84%
7	Suministro eléctrico 220 [V]	x	220	3	34,93	1,32%
8	4<N°Bloques Generados simul.<10	▲	10	9	275,45	10,39%
9	N° de operarios max. 3	▼	3	9	279,01	10,52%
10	Materia prima Envases de Tetra Pak	x	Tetra Pak	9	107,86	4,07%
11	Materia prima Resina	x	Resina	9	107,86	4,07%
12	Capacidad min. 240 [un/hr]	▲	240	9	280,37	10,58%
13	T consolidación Resina [°C]	x	Ind.	9	74,50	2,81%

Del estudio de la casa de la calidad, donde se relacionaron especificaciones con objetivos, se puede inferir respecto a las especificaciones de diseño de la máquina que:

- Las especificaciones con más importancia relativa son: costo de la máquina, bloques generados simultáneamente, numero de operarios, y capacidad por minuto.
- Las especificaciones con menos importancia relativa son: Suministro eléctrico, temperatura de consolidación de la resina, especificaciones de dimensiones de máquina, las materias primas.

4.12.2. QFD Ladrillo

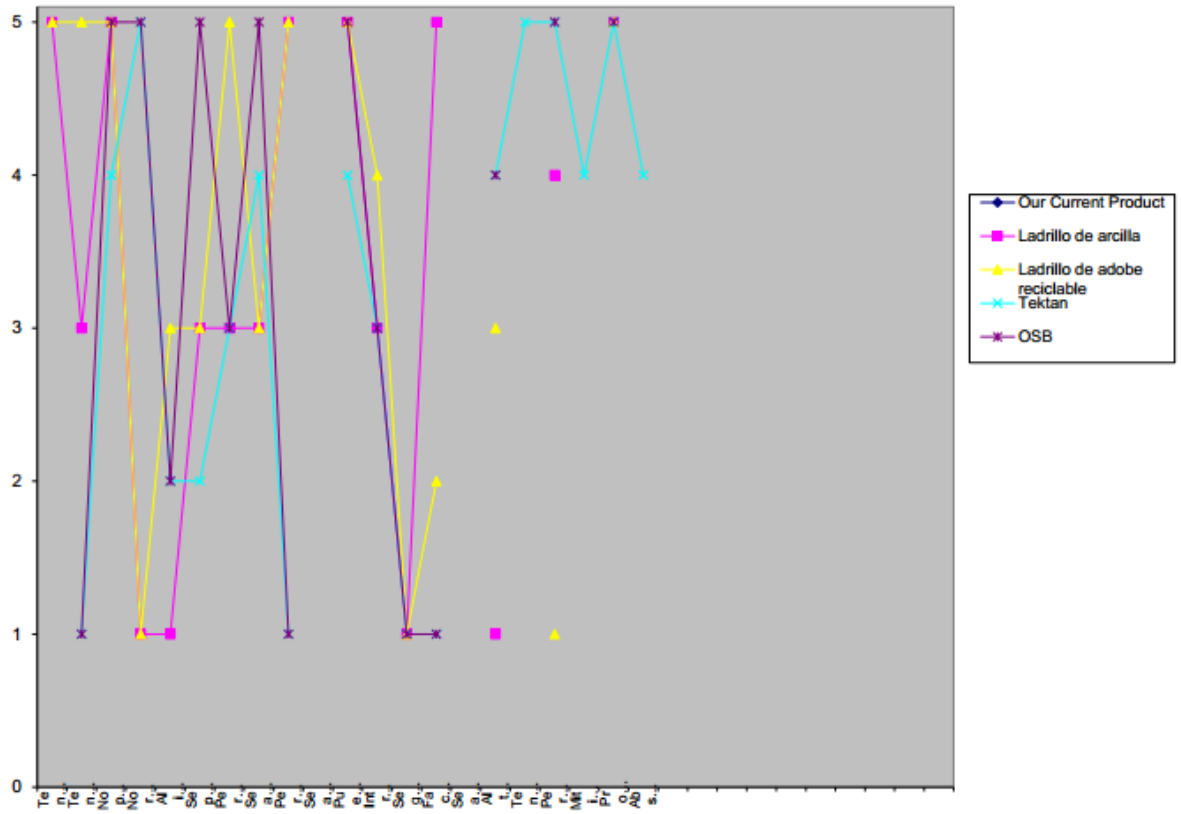
- Requerimientos de los clientes

Tabla 33: QFD Ladrillo parte 1.

Row Number	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Weight / Importance	Relative Weight	Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best)					
				Our Current Product	Ladrillo de arcilla	Ladrillo de adobe reciclable	Tektan	OSB	Competitor 5
1	Tenga alta relación resistencia/peso	0,1285	12,85		5	5			
2	Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	0,1239	12,38		3	5	1	1	
3	No produzca gases o componentes tóxicos	0,1038	10,38		5	5	4	5	
4	No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse	0,0964	9,63		1	1	5	5	
5	Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería	0,0956	9,55		1	3	2	2	
6	Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	0,0535	5,34		3	3	2	5	
7	Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico	0,0500	4,99		3	5	3	3	
8	Sea de geometría regular en sus caras	0,0476	4,75		3	3	4	5	
9	Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	0,0453	4,53		5	5	1	1	
10	Sea resistente al sol y el calor	0,0393	3,93						
11	Pueda ser pintado	0,0354	3,53		5	5	4	5	
12	Introducción de cañerías de cobre para el piping	0,0338	3,38		3	4	3	3	
13	Se genere una pre-pared (varios ladrillos ya unidos)	0,0310	3,09		1	1	1	1	
14	Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	0,0255	2,55		5	2	1	1	
15	Sea resistente a bajas temperaturas	0,0236	2,36						
16	Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio	0,0165	1,65		1	3	4	4	
17	Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos	0,0152	1,52				5		
18	Permita ser cortado	0,0132	1,32		4	1	5	5	
19	Mitigue la propagación de fuego	0,0116	1,16				4		
20	Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	0,0069	0,69		5	5	5	5	
21	Absorba vibraciones acústicas	0,0040	0,40				4		

- Análisis competitivo

Tabla 34: QFD Ladrillo parte 2.



• QFD

Tabla 35: QFD Ladrillo parte 3.

Relationship Between Requirements:
9 - Strong 3 - Moderate 1 - Weak

Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9
Requirement Weight	223,39	223,39	223,39	45,867	45,867	45,867	374,22	435,18	93,399	45,242	56,058	93,399	308,19
Relative Weight	10,09	10,09	10,09	2,07	2,07	2,07	16,91	19,66	4,22	2,04	2,53	4,22	13,92
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	2	2	2	2	2	2	10	8	5	3	5	3	7
Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	x	x	x	x	x	x	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Target or Limit Value	155	100	150	3	5	2	Ind.	0,45	Ind.	14	X	90	8

Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")													
			100<Altura<155 [mm]													
			200<Largo<300 [mm]													
			100<Ancho<150 [mm]													
			IT Altura ±3 [mm]													
			IT Largo ±5 [mm]													
			IT Ancho ±3 [mm]													
			Peso máximo													
			Costo de fabricación Max. 0,45 [US\$/un]													
			Límite para sustancias CMR													
			Absorción de Agua max. 14 [%]													
			Radio de Bordes mín													
			Contenido max. de plomo en colorante 90 [ppm]													
			Edad mín. para uso 8 años													
1	9	12,85	Tenga alta relación resistencia/peso	3	3	3				9	3					
2	9	12,38	Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	9	9	9				9	3		1	3		
3	9	10,38	No produzca gases o componentes tóxicos								3	9			9	3
4	9	9,63	No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse								3			1		9
5	9	9,55	Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería							1						9
6	9	5,34	Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones							9						9
7	9	4,99	Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico							3	9					
8	9	4,75	Sea de geometría regular en sus caras				9	9	9		3		3			
9	9	4,53	Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	1	1	1					9					
10	9	3,93	Sea resistente al sol y el calor								9					
11	9	3,53	Pueda ser pintado								9					
12	9	3,38	Introducción de cañerías de cobre para el piping							9	9					
13	9	3,09	Se genere una pre-pared (varios ladrillos ya unidos)	9	9	9	1	1	1	9	9			3		9
14	9	2,55	Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	9	9	9				1	9					
15	9	2,36	Sea resistente a bajas temperaturas								9					
16	9	1,65	Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio										3			9
17	9	1,52	Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos								9		9			9
18	9	1,32	Permita ser cortado	9	9	9				3						
19	9	1,16	Mitigue la propagación de fuego								9					
20	9	0,69	Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	9	9	9				9	3					
21	9	0,40	Absorba vibraciones acústicas							9	9					

- Techo de la QFD

Tabla 36: QFD Ladrillo parte 4.

Correlations: Positive (+) or Negative (-)

Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			100<Altura<155 [mm]	200<Largo<300 [mm]	100<Ancho<150 [mm]	IT Altura ±3 [mm]	IT Largo ±5 [mm]	IT Ancho ±3 [mm]	Peso máximo	Costo de fabricación Max. 0,45 [US\$/un]	Límite para sustancias CMR	Absorción de Agua max. 14 [%]	Radio de Bordes mín	Contenido max. de plomo en colorante 90 [ppm]	Edad mín. para uso 8 años
1	100<Altura<155 [mm]														
2	200<Largo<300 [mm]														
3	100<Ancho<150 [mm]														
4	IT Altura ±3 [mm]														
5	IT Largo ±5 [mm]														
6	IT Ancho ±3 [mm]														
7	Peso máximo														
8	Costo de fabricación Max. 0,45 [US\$/un]								-						
9	Límite para sustancias CMR														
10	Absorción de Agua max. 14 [%]														
11	Radio de Bordes mín								+						
12	Contenido max. de plomo en colorante 90 [ppm]														
13	Edad mín. para uso 8 años												+		

- Resumen

Tabla 37: QFD Ladrillo parte 5.

t

Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	Target or Limit Value	Max Relationship Value	Requirement Weight	Relative Weight (Relative Importance)
1	100<Altura<155 [mm]	x	155	9	223,39	10,09%
2	200<Largo<300 [mm]	x	100	9	223,39	10,09%
3	100<Ancho<150 [mm]	x	150	9	223,39	10,09%
4	IT Altura ±3 [mm]	x	3	9	45,87	2,07%
5	IT Largo ±5 [mm]	x	5	9	45,87	2,07%
6	IT Ancho ±3 [mm]	x	2	9	45,87	2,07%
7	Peso máximo	▼	ind.	9	374,22	16,91%
8	Costo de fabricación Max. 0,45 [US\$/un]	▼	0,45	9	435,18	19,66%
9	Límite para sustancias CMR	▼	ind.	9	93,40	4,22%
10	Absorción de Agua max. 14 [%]	▼	14	9	45,24	2,04%
11	Radio de Bordes min	▼	x	3	56,06	2,53%
12	Contenido max. de plomo en colorante 90 [ppm]	▼	90	9	93,40	4,22%
13	Edad min. para uso 8 años	▼	8	9	308,19	13,92%

Algunos de los aspectos a destacar basados en el tratamiento de las especificaciones que se abordan en la casa de la calidad son:

- Se observa una importancia relativa más homogénea en comparación a la máquina.
- Las especificaciones con más importancia relativa son: dimensiones del ladrillo, peso, costo de fabricación y edad de uso.
- Las especificaciones con menos importancia relativa son: tolerancias dimensionales del ladrillo, absorción de agua, radio de bordes y especificaciones para proteger la salud del usuario.

4.13. Resolución de problemas y contradicciones de diseño

Se aplicarán dos formas de solución a las contradicciones de diseño, primero se busca encontrar soluciones a partir de los conocimientos intuitivos y la bibliografía. Después se aplica la metodología TRIZ.

4.13.1. Contradicciones y soluciones Máquina

Las soluciones para mejorar los problemas generados por las contradicciones de diseño se observan en la siguiente tabla.

Tabla 38: Soluciones encontradas a contradicciones Máquina y Ladrillo.

Resumen soluciones	
Problema	Solución
Nº Operarios/Costo de fabricación	Automatizar lo más posible el proceso, por medio de PLC y sensores que guíen el proceso con un mínimo contacto humano.
Bloques generados simultáneamente/ Nº Operarios	Automatizar el proceso a tal punto, que cuando el ladrillo esté listo para ser empacado, un sistema automático de control tome y empaque los ladrillos, prescindiendo de que una persona posicione el ladrillo en un lugar apropiado.
Capacidad [un/hr] / Nº Operarios	Más automatización, implica menos operadores.
T consolidación resina/Costo fabricación	Adquirir mejores insumos para refrigerar el ladrillo al momento de consolidarse (mejores fluidos refrigerantes), de esta forma se puede extraer más rápido y empacar.
T consolidación resina/Costo máquina	Generar canales de refrigeración, para que el calor de la mezcla fluya rápidamente hacia el exterior del bloque y entre llegue al fluido.
T consolidación resina/Bloques generados simultáneamente	Generando canales de mayor diámetro para transferir más calor, o por otro lado aumentar el caudal del fluido. También una solución es mejorar el intercambio de calor desde el fluido hacia una fuente externa, para liberar este calor rápidamente

Resumen soluciones	
Problema	Solución
T consolidación resina / Capacidad [un/hr]	Igual a la anterior, se requieren mejorar los procesos de refrigeración por conformado.
Costo de fabricación / Peso máximo	Al reducir el volumen, menos contenido de mezcla se utiliza en el proceso. Por un lado, este factor mejora o favorece la especificación de “costo de fabricación”, pero afecta directamente la complejidad del molde a utilizar, aumentando dicho costo.
Edad mínima de uso / Peso máximo	Disminuir el volumen del ladrillo y generar espacios huecos.
Edad mínima de uso / Radio de bordes mínimo	Aumentar la edad mínima de uso, o por el contrario, tener en consideración en el diseño del “molde” del ladrillo, que no quede con bordes peligrosos fuera de especificación.

4.13.2. Método de resolución de problemas: TRIZ

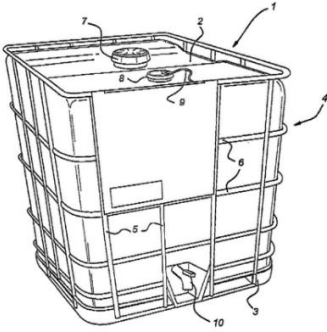
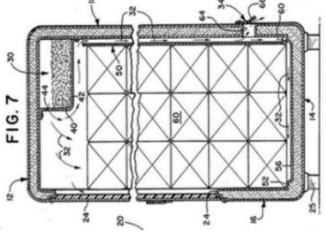
Dado que hay contradicciones que no pueden ser resueltas a simple vista o por el conocimiento actual del tema, se puede utilizar la metodología TRIZ. Esta sigla proviene del ruso y significa “Teoría para Resolver Problemas de Inventiva” [28], cuya función es resolver la contradicción entre dos especificaciones de diseño (una característica que mejora y otra que empeora). Esto se logra gracias a la elección de principios que históricamente se han utilizado en patentes para resolver estos problemas. A continuación, la tabla que resume el trabajo con la metodología TRIZ.

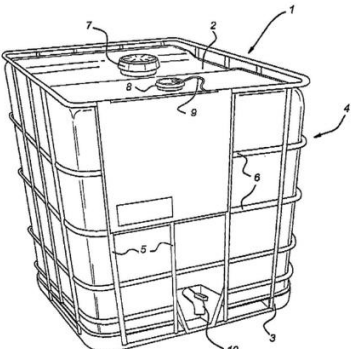
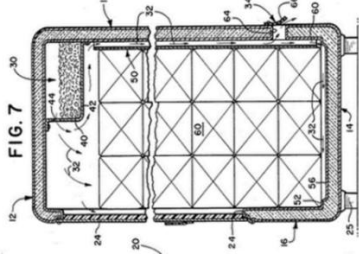
Tabla 39: Metodología TRIZ para contradicciones.

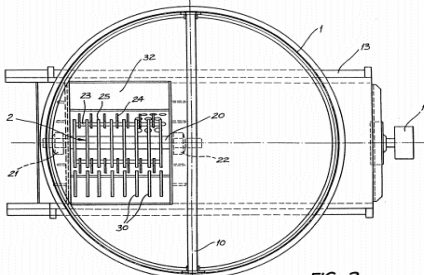
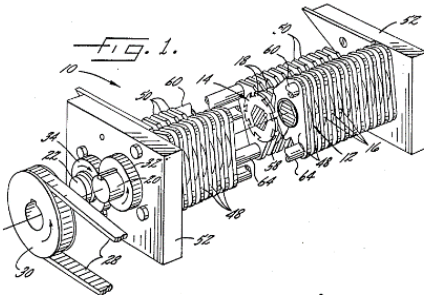
Nº	Problema inicial	Problema Triz		Solución triz	Solución final
1	Bloques generados simultáneamente/Energía de producción	32 Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación	20 Uso energético del objeto estacionario	1 Segmentación :Dividir un objeto en partes independientes	Aplicar varios cilindros hidráulicos para generar mayor fuerza. Utilizar varios inyectores para introducir mezcla de forma óptima
2	Bloques generados simultáneamente/Costo de máquina	32 Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación	33 Resistencia	3 Calidad Local: Cambio de una estructura homogénea por una heterogénea	Reforzar solo estructuras de la máquina donde se exijan mayores esfuerzos.
3	Capacidad [un/hr] / Energía de producción	39 Capacidad / Productividad	20 Uso energético del objeto estacionario	1 Segmentación :Dividir un objeto en partes independientes	Aumentar caudal de bombas para generar mayor flujo y rapidez al aplicar fuerzas o bombear.
4	Capacidad [un/hr] / Costo máquina	39 Capacidad / Productividad	38 Nivel de automatización	5 Combinación: Combinar en un espacio operaciones contiguas	Combinar la acción de los operadores con la automatización óptima del proceso, sin sobre automatizar.

4.14. Búsqueda de patentes

Tabla 40: Patentes para el diseño de la máquina.

Función: Almacenar Colorantes			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
IBC for combustible products	S 20030196923 A1		
Insulated refrigerated storage container	US 4907423 A		

Función: Almacenar Aglomerante			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
IBC for combustible products	S 20030196923 A1		
Insulated refrigerated storage container	US 4907423 A		

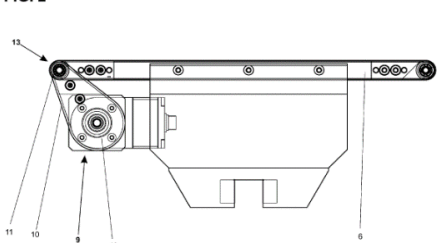
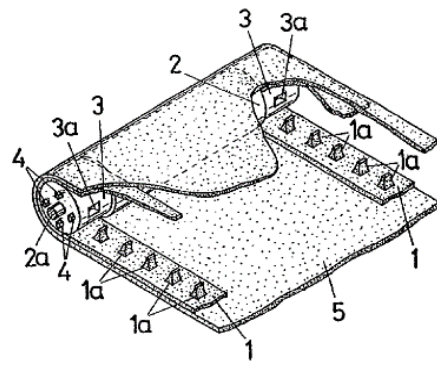
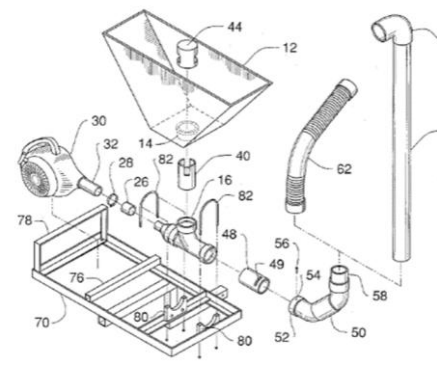
Función: Triturar Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Triturador de papel de desecho	WO/1988/008750 A1	Comprende una tolva giratoria, un molino de martillos rotativos con multiples cuchillos, un conjunto de dedos o separadores para las cuchillas, achicador de movimiento alternativo para compactar y descargar el material desmenuzado y medios de accionamiento.	
	US4944462	Con multiples discos intercalados que rigan en sentido contrario para reducir hojas de material en tiras longitudinales. Tiene un sistema para quitar el material atascado y ayudar a sacarlo entre los discos	

Función: Triturar Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Máquina generadora de hojuelas (flake)	US3462087	Aparato para generar flakes u hojuelas de hoja papel encerado u otro tipo de papel. La hoja se desplaza por medio de una correa transportadora y llega a unas cuchillas para la tritución. La velocidad de alimentación de hojas es controlada.	
Trituradora para generar fragmentos de tamaño reducido	US20060219826	Es una trituradora con un método de disposición de cuchillas en cada eje, de manera que cada set de cuchillas, tiene ganchos especiales alrededor de cada circunferencia. Además se puede modificar la posición y el número de ganchos, para mantener baja la carga de torque.	
Trituradora de corte cruzado	US7500629	Tritura a través de cuchillas usando dos mecanismos de corte. Un corte convencional gracias a cuchillas ubicadas en el perímetro de los discos, y otras cuchillas con sentido axial, encargadas de cortar las tiras longitudinales generadas anteriormente.	

Función: Almacenar triturado de Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Apparatus for discharging particulate material from containers	US 3619011 A		
Articulate material storage structure	US 4841693 A		

Función: Almacenar triturado de Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Storage container for particulate material	US 4410111 A		<p>The figure consists of three technical drawings labeled Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3. Fig. 1 is a perspective view of a storage container with a conical bottom and a top section. Fig. 2 is a detailed view of the top section, showing a conical structure with various components. Fig. 3 is a detailed view of the bottom section, showing a conical structure with a central opening and surrounding components.</p>

Función: Desplazar Triturado			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Cinta transportadora	US6315100	Una sistema de cinta transportadora comprende tanto una cinta sin fin, como dos rodillos (primario y secundario). La cinta sigue la trayectoria de transporte desde el primer al segundo rodillo, y un camino de retorno desde el segundo rodillo al primero.	<p>The drawing shows a perspective view of a conveyor belt system. It features a rectangular housing with two rollers (primary and secondary) and a continuous belt that runs from the first roller to the second and then returns to the first.</p>
Bomba de particulado Sólido	US3975058	Es una bomba de particulado sólido, el cual es del tipo de transportador de tornillo para el desplazamiento de partículas desde una tolva a un barril. Cuando comienza a funcionar, simultáneamente se induce una corriente de flujo de gas que se suministra para	<p>The drawing is a detailed cross-sectional view of a solid particulate pump mechanism, showing various internal components like screws and rollers used for transporting particles.</p>

Función: Desplazar Triturado			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
		facilitar el movimiento y la suspensión de los sólidos de partículas.	
Transportador de cinta	US20140034457	Este transportador de cinta incluye una cama del transportador, sobre la cual los rodillos de la correa están posicionados. Estos están conectados a rodillos motrices.	
Transportador de cinta	US20020134651	Comprende una correa de ancho fijo y sin fin, la cual está montada sobre una polea con rodillos. Las partes salientes de la correa se forman en la parte interior de esta. Los salientes de la cinta se acoplan perfectamente a los agujeros de la polea, evitando así el serpenteo de la correa.	
Sistema neumático de transporte para particulado	US6892909	Un sistema de distribución de partículas neumático, que tiene una tolva para almacenar material particulado, como comida de animales, fertilizantes, pesticidas y similares. La tolva está conectado a un conector en T. Una unidad de soplado de aire está conectada al conector en T y a un tubo de velocidad (menos diámetro) a través de un adaptador intercambiable que permite trabajar a distintos flujos de aire.	

Función: Mezclar colorante, aglomerante y triturado de Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Mixing and degassing apparatus	US 3229449 A		<p>FIG. 1</p>
Vertical continuous reactor and process for liquid epoxy resin	US 5310955 A		<p>Fig. 1</p> <p>Fig. 2</p>
Method and apparatus for producing filled resins	US 3966176 A		<p>FIG. 1</p> <p>FIG. 2</p>

Función: Mezclar colorante, aglomerante y triturado de Tetra Pak ®			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Apparatus for mixing and degassing components of synthetic resins, particularly thermo-setting synthetic resins	US 4391529 A		

Función: Desplazar Mezcla			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Bomba de tornillo	US5073082	Consta de un elemento de sellado para el borde periférico del tornillo rotativo. El elemento de sellado está formado por un canal a lo largo de la longitud, que se ajusta con el tornillo rotativo. El canal varía su profundidad para ajustar la separación entre el tornillo, lo cual permite usar tornillos de distintos espesores. El elemento de sellado conserva el ancho deseado, a pesar de que los bordes del tornillo estén astillados o desgastados.	
Bomba de tornillo	US5310256		

Función: Desplazar Mezcla			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Bomba de tornillo	US6824374		
Screw pump for transporting emulsions susceptible to mechanical handling	US 7165933 B2		
Bomba de tornillo	US2012021767 9		

Función: Calentar Resina			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Calentado por resistencias			
Calentado por agua en tornillo			

Función: Llenar Molde			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Tornillo recíprocante	6824374	Es una máquina de moldeo por inyección, la cual incluye una unidad de plastificación para resina termoplástica B, y una unidad de inyección A, conectada a través de un conducto. Entre ambas unidades, puede existir una fase intermedia que guarda la cantidad exacta de resina para administrarle a A y después ser inyectada, reduciendo el tiempo del ciclo de moldeo. Si se desea se puede prescindir de C y abastecer directamente desde B hasta A.	

Función: Aplicar energía de producción			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Moldeo por inyección	US 2734226 A		
Compression molding procedure for liquid polyester resins	US 4239717 A		

Función: Transformar energía hidráulica en mecánica			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Hydraulic cylinder	US5957031		
Cilindro de diafragma			

Función: Almacenar fluido refrigerante			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Hydraulic elevator oil tank	US 5346371 A		
Double wall steel tank	US 5081761 A		

Función: Transformar energía mecánica en hidráulica			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Hydraulic gear motor or hydraulic gear pump	US 3285188 A		

Función: Transformar energía mecánica en hidráulica			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Centrifugal hydraulic pump	US 2700344 A		

Función: Enfriar molde			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Injection mold having simplified evaporative cooling system	US 8591219 B1		
Cooling mold	US 1910015 A		

Función: Fluido refrigerante			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Heat exchanger, reservoir, fan and pump assembly	US 3196939 A		
Water chiller with improved freeze-up protection	US 3443394 A		

Función: Expulsar bloque			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Ejector pin with pressure sensor			<p>FIG.6 (PRIOR ART)</p> <p>FIG.7</p>
Injection mold and partial compression molding method	US 7722792 B2		







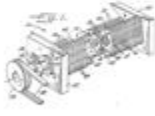
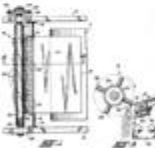




Función: Desplazar bloque			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Pneumatic suction device	US 2657893 A		

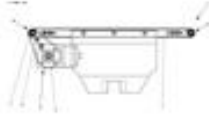

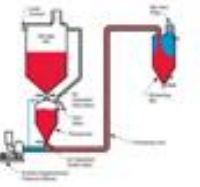






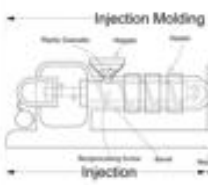
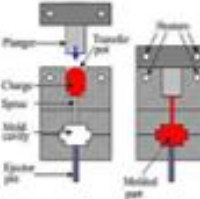
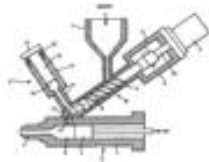
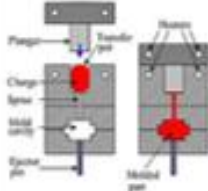
Función: Desplazar bloque			
Nombre Patente	Código Patente	Descripción	Figura
Hydraulic claw with locking mechanism	US 3736018 A		<p>FIG. 1</p> <p>FIG. 3</p> <p>FIG. 4</p> <p>INVENTORS JACK L. SARTRE, JR. KENNETH R. FISHEL BY THOMAS GLENN KEDDIGH ERVIN E. JOHNSON ATTORNEYS</p>

4.15. Carta morfológica


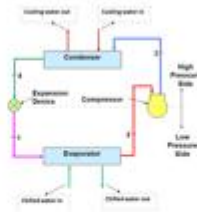
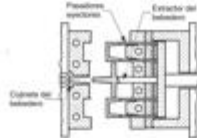

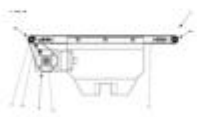
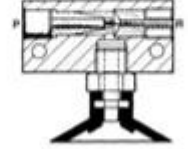

En la carta morfológica, se muestran las diferentes posibilidades que potencialmente pueden satisfacer un sub sistema del equipo. La alimentación de dicha tabla se genera a partir de la investigación en la bibliografía, búsqueda de patentes, hojas de datos de equipos y las entrevistas realizadas al inicio del diseño conceptual.

Tabla 41: Carta morfológica para el diseño de la máquina.

Función	Concepto		
Almacenar Colorantes	Bidones metálicos 	Contenedor IBC plástico 	Contenedor IBC refrigerable 
Almacenar Aglomerante	Bidones metálicos 	Contenedor IBC plástico 	Contenedor IBC refrigerable 
Triturar Tetra Pak	Triturador generador de tiras 	Triturador generador de Hojuelas 	Triturador tipo corte cruzado 
Almacenar Triturado de Tetra Pak	Tolva de acopio 	Silo 	Cancha de Triturado 

<p>Desplazar triturado de Tetra Pak</p>	<p>Cinta transportadora</p> 	<p>Bomba de particulado Sólido</p> 	<p>Sistema de transporte Neumático</p> 
<p>Mezclar Triturado, resina, colorantes</p>	<p>Mixer Vertical cónico de resina</p> 	<p>Mixer resina y calentador</p> 	<p>Mezclador de cinta</p> 
<p>Desplazar Mezcla</p>	<p>Bomba de Tornillo</p> 	<p>Bomba de diafragma</p> 	
<p>Calentar Resina</p>	<p>Mixer resina y calentador</p> 	<p>Calentar en bomba de tornillo</p> 	<p>Calentar en molde</p> 
<p>Llenar Molde</p>	<p>Piston de inyección post bomba de tornillo</p> 	<p>Pre recipiente de llenado y pistón</p> 	

<p>Aplicar Energía de producción</p>	<p>Aplicar Fuerza de compresión</p> 	<p>Presión de inyección</p> 	
<p>Transformar energía hidráulica en mecánica</p>	<p>Cilindro de membrana</p> 	<p>Cilindro Doble efecto</p> 	
<p>Almacenar fluido refrigerante</p>	<p>Estanque de aluminio</p> 	<p>Estanque de acero</p> 	
<p>Transformar energía mec. En Hidr.</p>	<p>Bomba centrífuga</p> 	<p>Bomba de tornillo</p> 	<p>Bomba de engrane</p> 
<p>Enfriar molde</p>	<p>Conductos de fluido en molde</p> 	<p>Soplar molde</p> 	<p>Sistema Híbrido (fluido en molde y soplador)</p>

<p>Enfriar Fluido refrigerante</p>	<p>Intercambiador de calor Aire-Fluido líquido</p> 	<p>Chiller</p> 	
<p>Expulsar Bloque</p>	<p>Pasadores eyectores</p> 	<p>Expulsar por aire</p> 	
<p>Desplazar Bloque</p>	<p>Correa transportadora</p> 	<p>Ventosa con tobera de aspiración neumática</p> 	<p>Tomar ladrillo y posicionar</p> 

4.16. Brainstorming

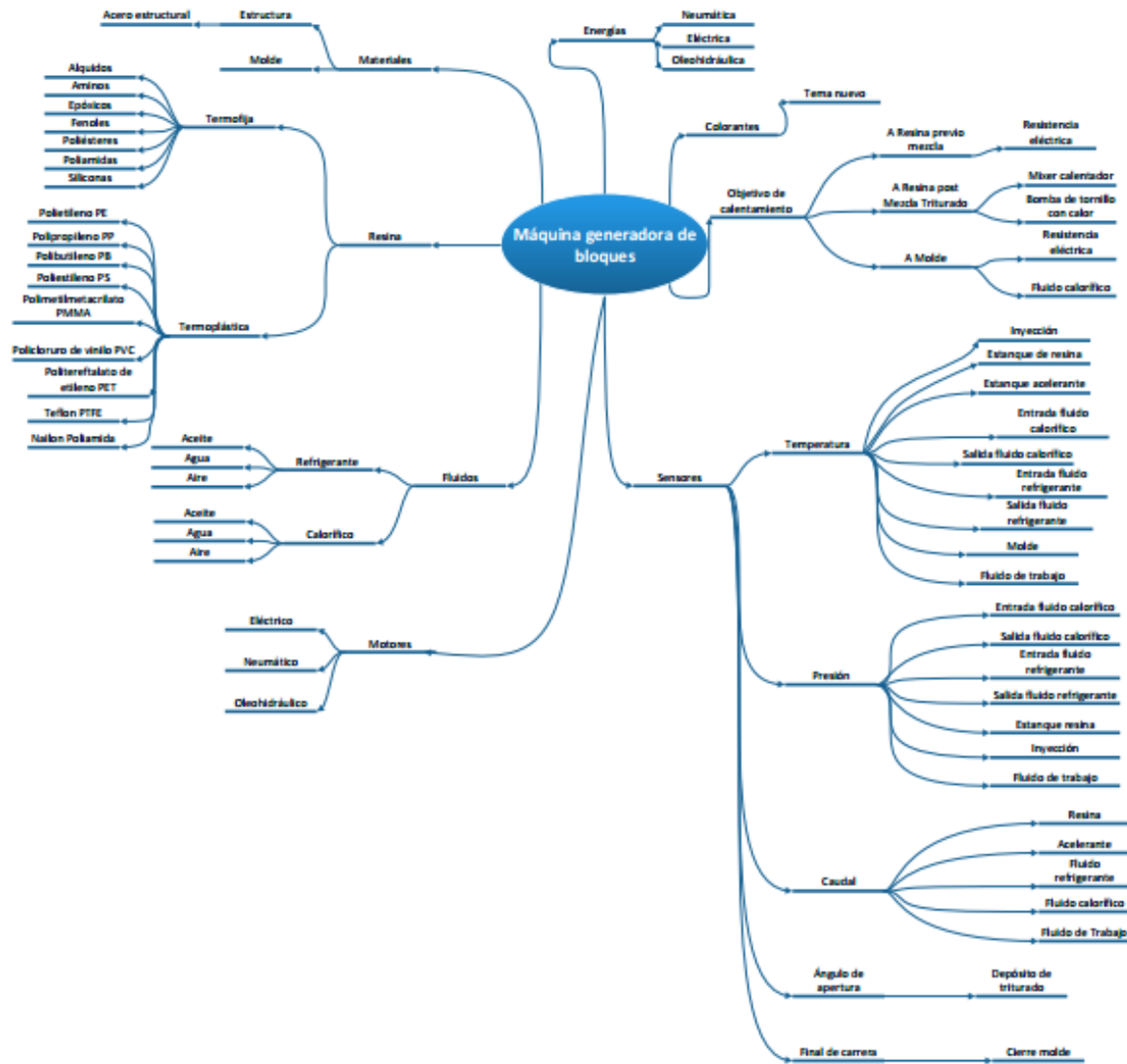


Figura 15: Brainstorming o tormenta de ideas para el diseño de la máquina.

4.17. Matriz de relación Máquina/Producto

En la bibliografía de diseño mecánico no hay información acabada acerca de los métodos de diseño del conjunto máquina y producto. Es por esto, que para poder visualizar cuales características tienen mayor relación, se procede a generar dos matrices que ayudarán al diseño: Objetivos producto-Insumos máquina y Objetivos producto-Objetivos máquina.

La recopilación de información de los insumos que utiliza la máquina se encuentra en el anexo 11.3.

4.17.1. Matriz de relación Objetivos Producto – Insumos Máquina

Esta matriz permite visualizar que hay ciertos insumos que satisfacen más los objetivos de diseño. En este caso, los que se relacionan menos con estos objetivos son, el catalizador y colorante. Y por otro lado, los que más se relacionan con los objetivos son el Tetra Pak ® y la resina.

Tabla 42: Matriz objetivos producto e insumos máquina (parte 1).

Objetivos Ladrillo						
Tenga alta relación resistencia/peso						
Tenga distintas formas compatibles según requerimiento						
No produzca gases o componentes tóxicos						
No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse						
Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería						
Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones						
Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico						
Sea de geometría regular en sus caras						
Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales						
Sea resistente al sol y el calor						
Pueda ser pintado						
		INSUMOS MAQ				
						•
					•	
					•	
	•					
						•

4.17.2. Matriz de relación Objetivos Producto – Objetivos Máquina

El objetivo de esta matriz es poder relacionar los objetivos de ambos diseños, y así poder visualizar cuales son más importantes para el otro diseño en paralelo. Se evaluó con una escala de 1 a 9, siendo el 9 con mayor relación objetivo-objetivo. En este caso, se obtuvo que los objetivos que más se relacionan en el caso del ladrillo son: “Formas compatibles según requerimiento”, “Geometría regular en sus caras” y “Generar una pre pared de varios ladrillos ya unidos”. Por otro lado, en el caso de los objetivos de máquina, los que mejor relación tienen son: “Bajo costo de equipo”, “Instalar un nuevo molde de forma fácil” y “Generar varios ladrillos simultáneamente”. Siendo “Bajo costo de equipo” el que más se relacionaba con los objetivos, ya que, para satisfacer más objetivos del ladrillo, se requiere más inversión.

Tabla 44: Matriz Objetivos máquina-producto (parte 1).

		OBJETIVOS LADRILLO																						
		Tenga alta relación resistencia/peso	Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	Pueda ser pintado	Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos	Mitigue la propagación de fuego	Sea resistente al sol y el calor	Sea resistente a bajas temperaturas	No produzca gases o componentes tóxicos	Absorba vibraciones acústicas	Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería	No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse	Sea de geometría regular en sus caras		Se genere como una pre-pared o varios ladrillos ya unidos. Una configuración de ladrillos ya unidos. Una configuración de cañerías corrugadas para cableado eléctrico	Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping	Permita ser cortado	Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio		
Objetivos Máquina	Tengo bajo costo de operación																						0	
	Tengo bajo costo de mantenimiento																							0
	Fácil mantenimiento																							0
	Genero bajo ruido																							0
	Tengo las superficies calientes aisladas																							0
	Tengo bajo costo de equipo	7		9			7	7	4	7	7			9	9			9	9	7	7			38
	Permita la instalación de diferentes moldes			9																				9
	Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple			9														5						14
	Fácil de limpiar			5																				5
	Permite almacenar la materia prima																							0
	El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático																							0
	Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)																							0

Tabla 45: Matriz Objetivos máquina-producto (parte 2).

		OBJETIVOS LADRILLO																												
		Tenga alta relación resistencia/peso	Se pueda emplear para distintos tipos de construcciones	Tenga distintas formas compatibles según requerimiento	Facilite el posicionamiento permitiendo distintas configuraciones y diseños (tipos de ensamble)	Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción	Pueda ser pintado	Tenga una superficie resistente a la humedad y al ataque de hongos	Mitigue la propagación de fuego	Sea resistente al sol y el calor	Sea resistente a bajas temperaturas	No produzca gases o componentes tóxicos	Absorba vibraciones acústicas	Permita incluir refuerzos horizontales y/o verticales	Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería	No requieran de mezcla de pega o cemento para unirse	Sea de geometría regular en sus caras		Se genere como una pre-pared o varios ladrillos ya unidos. Una configuración de ladrillos ya	Permita la introducción de cañerías corrugadas para cableado eléctrico	Permita la introducción de cañerías de cobre para el piping	Permita ser cortado	Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio							
Objetivos Máquina	Es posible controlar la temperatura del proceso																											0		
	Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas																												0	
	Se comande con un sistema de control																												0	
	Tenga un ciclo continuo de funcionamiento																												0	
	Incorpore un contador de ladrillos generados																												0	
	Genere varios ladrillos simultáneamente																												9	
	Permita el reemplazo de componentes dañados																												0	
	Posea un sistema de dosificación de la materia prima																												0	
	Posea sistema de parada de emergencia																													0
		7	0	32	0	0	7	7	4	7	7	0	9	9	0	0	14	18	7	7	0	0								

4.18. Generación de Conceptos

En esta fase del diseño conceptual, se busca elegir, a partir de las múltiples opciones de la carta morfológica, un conjunto de maquinarias que satisfaga las funciones del diseño. Se generan tres conceptos bajo distintos enfoques, para poder abarcar distintas formas que tiene la industria de generar este tipo de ladrillo. La profundización del estudio de los distintos tipos de procesos de conformado con matriz polimérica se encuentra en el anexo 11.4.

4.18.1. Concepto 1: Enfoque moldeo por inyección

En este concepto se utiliza para almacenar colorantes, un contenedor de plástico IBC (Intermediate Bulk Container o Recipiente para materias a granel). Por otro lado, para almacenar el aglomerante, un contenedor refrigerable IBC. Posteriormente, viene la fase de triturado, donde se utiliza un triturador para generar hojuelas de Tetra Pak®, las cuales son acumuladas en un silo. Para desplazar el triturado, se utiliza un tornillo oleo hidráulico, que lo lleva a un mezclador de cinta donde se mezcla con el aglomerante y colorante. Esta mezcla se moverá con una bomba de tornillo, que no solo desplazarla la mezcla, sino que también la calentará a partir de resistencias eléctricas para alcanzar la temperatura óptima (máx 100 °C

en termo estables) [29]. Esta bomba realiza la función de desplazar, calentar e inyectar la mezcla (moldeo por inyección). Una vez la mezcla está dentro del molde, pasa por una fase final de calentamiento para alcanzar la temperatura de consolidación del polímero termoestable. Para poder ejercer fuerza y extraer los bloques del molde, se utiliza un cilindro de membrana. Para poder generar varios ladrillos simultáneamente, se utiliza la tecnología del inyector dinámico, que consiste en con un inyector se suministra mezcla a varios moldes a partir de un canal común. Debido a que se utilizan Para enfriar el molde se utiliza un fluido refrigerante que se almacena en un estanque de acero, el cual es bombeado por una bomba de engrane y conducido hacia el interior del molde para extraer el calor de este. Este fluido se enfría una vez ha salido del molde en un sistema Chiller. Para expulsar el bloque y usar la fuerza del actuador, se usan pasadores eyectores. Finalmente, el ladrillo se toma manualmente y se pone en posición para ser posteriormente embalado. Debido a la configuración anterior, se utiliza energía eléctrica y oleo hidráulica para llevar a cabo el proceso productivo. Esta última, por las grandes fuerzas de compresión que se requieren para contener los moldes unidos.

4.18.2. Concepto 2: Enfoque moldeo por compresión

En este concepto se utiliza para almacenar colorantes un bidón metálico. Por otro lado, para almacenar el aglomerante, un contenedor IBC plástico. Posteriormente, viene la fase de triturado, donde se utiliza un triturador para generar hojuelas de Tetra Pak ®, las cuales son acumuladas en una tolva de acopio. Para desplazar el triturado, se utiliza una bomba de particulado sólido, que lo lleva a un mixer vertical cónico de resina, donde se mezcla con el aglomerante y colorante. Esta mezcla se moverá con una bomba de tornillo. Para calentar la resina, se utilizan resistencias térmicas dentro del molde. El método de moldeo que se utiliza es el por compresión y la forma de llenar el molde es a través de una bomba de tornillo. Para poder ejercer fuerza y extraer los bloques del molde, se utiliza un cilindro de doble efecto. Para enfriar el molde se utiliza un fluido refrigerante que se almacena en un estanque de acero, el cual es bombeado por una bomba de engrane y conducido hacia el interior del molde para extraer el calor de este. También se utiliza para enfriar el molde, un sistema de ventilador externo a este. Este fluido se enfría una vez ha salido del molde en un sistema de intercambiador de calor aire- líquido. Para expulsar el bloque y usar la fuerza del actuador, se usan pasadores eyectores. Finalmente, el ladrillo se toma manualmente y se pone en posición para ser posteriormente embalado. Debido a la configuración anterior, se utiliza energía eléctrica y oleo hidráulica para llevar a cabo el proceso productivo.

4.18.3. Concepto 3: Enfoque moldeo por transferencia

En este concepto se utiliza para almacenar colorantes un bidón metálico. Por otro lado, para almacenar el aglomerante, un contenedor IBC refrigerable. Posteriormente, viene la fase de triturado, donde se utiliza un triturador tipo corte cruzado, las cuales son acumuladas en un silo. Para desplazar el triturado, se utiliza una correa transportadora, que lo lleva a un mixer de resina calentador que precalienta la mezcla, donde se mezcla con el aglomerante y colorante. Esta mezcla se moverá con una bomba de tornillo. Para calentar la resina, se utilizan resistencias térmicas dentro del molde. El método de moldeo que se utiliza es el por transferencia y la forma de llenar el molde es a través de un pre recipiente. Para poder ejercer fuerza y extraer los bloques del molde, se utiliza un cilindro de membrana. Para enfriar el molde se utiliza un fluido refrigerante que se almacena en un estanque de acero, el cual es bombeado por una bomba centrífuga y conducido hacia el interior del molde para extraer el calor de este. También se utiliza para enfriar el molde, un sistema de ventilador externo a este. Este fluido se enfría una vez ha salido del molde en un sistema Chiller. Para expulsar el bloque y usar la fuerza del actuador, se usan pasadores eyectores. Finalmente, el ladrillo se toma manualmente y se pone en posición para ser posteriormente embalado. Debido a la configuración anterior, se utiliza energía eléctrica y oleo hidráulica para llevar a cabo el proceso productivo.

4.19. Selección de un concepto por el método de los pesos ponderados

En esta fase del diseño conceptual, cuando ya se definieron las tres opciones de diseño, se debe escoger a partir del método de pesos ponderados, cuál es la alternativa que mejor satisface los objetivos de diseño. Las columnas de puntaje tienen valor de 1 a 5, con 1 baja satisfacción del objetivo y 5 con el puntaje máximo.

Tabla 46: Valorización de conceptos.

Objetivos máquina	Peso objetivo	Concepto 1: Moldeo por inyección		Concepto 2: Moldeo por compresión		Concepto 3: Moldeo por Transferencia	
		Puntaje	Peso	Puntaje	Peso	Puntaje	Peso
Permita la instalación de diferentes moldes	12%	5	0,60677	5	0,6068	5	0,60677
Genere varios ladrillos simultáneamente	10%	5	0,52071	5	0,5207	5	0,52071
Tenga bajo costo de operación	9%	5	0,46513	5	0,4651	5	0,46513
Tenga un ciclo continuo de funcionamiento	7%	5	0,36901	5	0,369	5	0,36901
Las partes en movimiento se encuentran completamente cerradas	7%	5	0,36883	5	0,3688	5	0,36883
Se comande con un sistema de control	7%	5	0,35278	5	0,3528	5	0,35278
Posea un sistema de dosificación de la materia prima	5%	4	0,20174	4	0,2017	5	0,25218
Tenga bajo costo de mantenimiento	5%	5	0,25194	3	0,1512	3	0,15117
Cuenta con un sistema para el control de la energía de fabricación del ladrillo (presión, fuerza, etc.)	5%	5	0,22931	5	0,2293	5	0,22931
Es posible controlar la temperatura del proceso	5%	5	0,22931	4	0,1834	4	0,18345
Posea sistema de parada de emergencia	5%	5	0,2254	5	0,2254	5	0,2254
El desplazamiento del producto entre cada fase o función principal es automático	4%	5	0,21667	5	0,2167	5	0,21667
Tenga las superficies calientes aisladas	4%	5	0,18442	5	0,1844	5	0,18442
Al instalar un nuevo molde, se realice dicho cambio de forma simple	4%	5	0,17515	4	0,1401	4	0,14012
Permite almacenar la materia prima	3%	5	0,13061	4	0,1045	4	0,10449
Permita el reemplazo de componentes dañados	2%	3	0,05939	3	0,0594	3	0,05939
Tenga bajo costo de equipo	2%	3	0,05523	5	0,0921	3	0,05523
Fácil mantenimiento	2%	3	0,04673	4	0,0623	3	0,04673

Objetivos máquina	Peso objetivo	Concepto 1: Moldeo por inyección		Concepto 2: Moldeo por compresión		Concepto 3: Moldeo por Transferencia	
		Puntaje	Peso	Puntaje	Peso	Puntaje	Peso
Incorpore un contador de ladrillos generados	1%	5	0,05997	5	0,06	5	0,05997
Genere bajo ruido	1%	5	0,05123	4	0,041	4	0,04098
Fácil de limpiar	1%	4	0,03333	4	0,0333	4	0,03333
TOTAL	100%	4,834		4,668		4,666	
ELECCIÓN		1		2		3	

Se obtiene según el puntaje obtenido, que el concepto que mejor satisface los objetivos de diseño es el moldeo por inyección. Este diseño tiene una serie de ventajas con respecto a los otros conceptos como, por ejemplo: generación simple de ladrillos simultáneos, energía hidráulica para todos los elementos móviles, refrigeración por chiller, calentamiento de la mezcla fuera del molde, bajo número de correas transportadoras, entre otros.

5. Arquitectura de diseño

En esta fase del diseño, se establece el tipo de arquitectura de la máquina, la cual busca satisfacer cómo se relacionan las funciones que debe realizar el diseño. La arquitectura de un producto puede ser de dos tipos, integral o modular. La primera, se diseña para que una sola parte del producto, tenga múltiples funciones. Mientras que la segunda tiene relación con separar el diseño en subsistemas o módulos que satisfacen funciones [30].

5.1. Tipo de arquitectura

Existen tres formas de arquitectura modular. La del tipo ranura o slot, tiene que ver con generar un dispositivo básico, que permita que se anexas a él distintos módulos bajo distintas maneras. Otra forma de arquitectura es la llamada Bus, que se basa en que existe un dispositivo básico en el cual se anexas distintos módulos. El enfoque de esta arquitectura es que esta relación o conexión entre la base y el módulo es de forma estándar. Existe también la arquitectura modular seccional, que se basa en interconectar módulos para que cada uno

realiza una sub función de forma individual. Finalmente, existe una forma mezclada de arquitecturas, que se basa en poder interconectar las distintas arquitecturas.

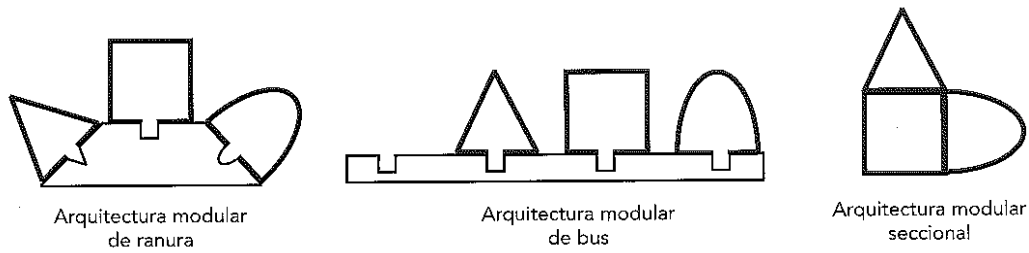


Figura 16: Tipos de arquitectura de diseño [31].

Como se observa en las secciones de carta morfológica y selección de conceptos, existen una variedad considerable de funciones que satisfacer. Cada una se llevará a cabo por un componente individual, de los cuales hay muchos con fabricación comercial. Por lo anterior, y por lo no estandarizadas que son las conexiones entre la universalidad de componentes mecánicos, se escoge la arquitectura modular de ranura. Ya que brinda flexibilidad de uniones entre sistemas y estructura.

5.2. Definición de la arquitectura del equipo

A continuación, se genera un diagrama con funciones, subfunciones y los elementos necesarios para que estas se lleven a cabo. Cuya finalidad es lograr definir una arquitectura y poder obtener una distribución física aproximada de los componentes. Las funciones son agrupadas en macro grupos de funciones, las cuales se observan en el siguiente diagrama:

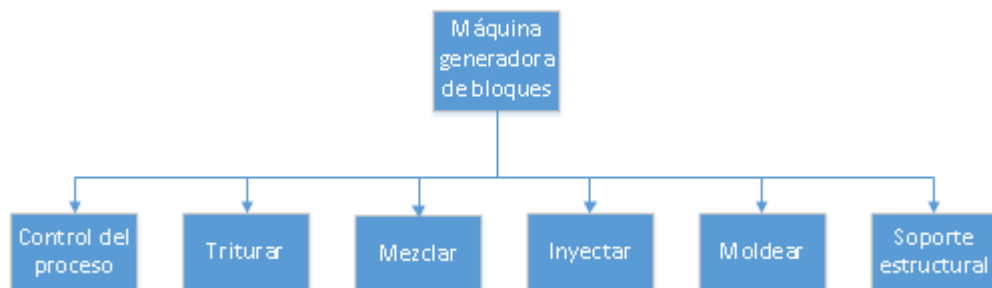


Figura 17: Diagrama de componentes y funciones de la máquina.

Cada una de estas funciones forma parte de un Módulo, los cuales se aprecian por separado en los siguientes diagramas:

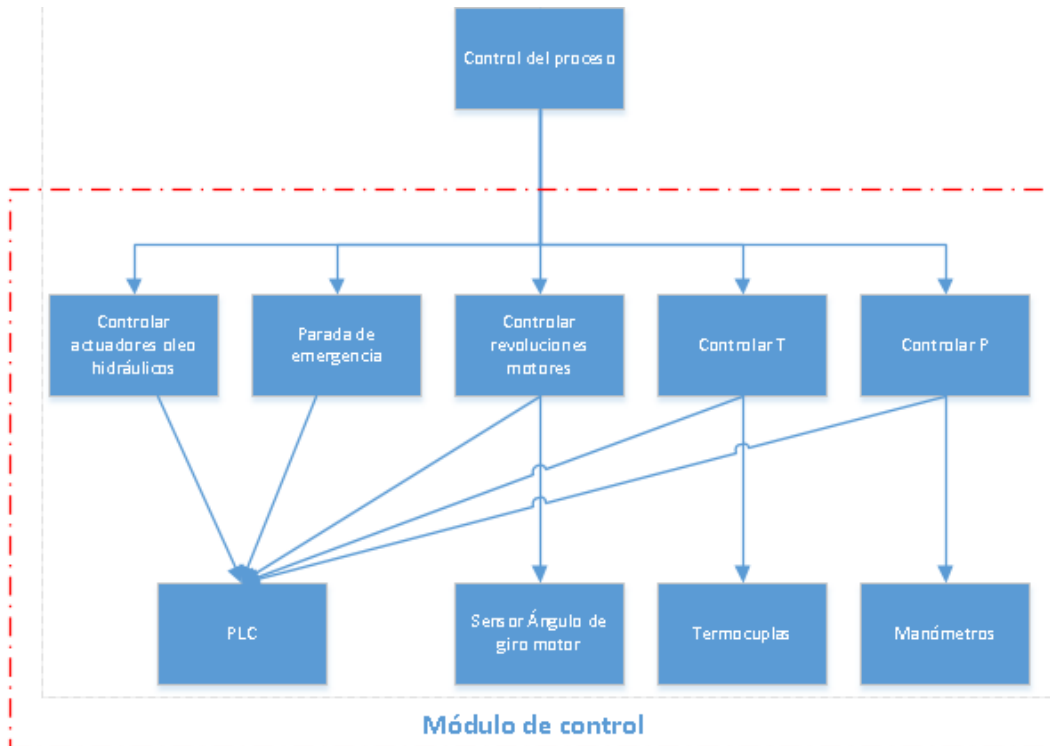


Figura 18: Módulo de Control.

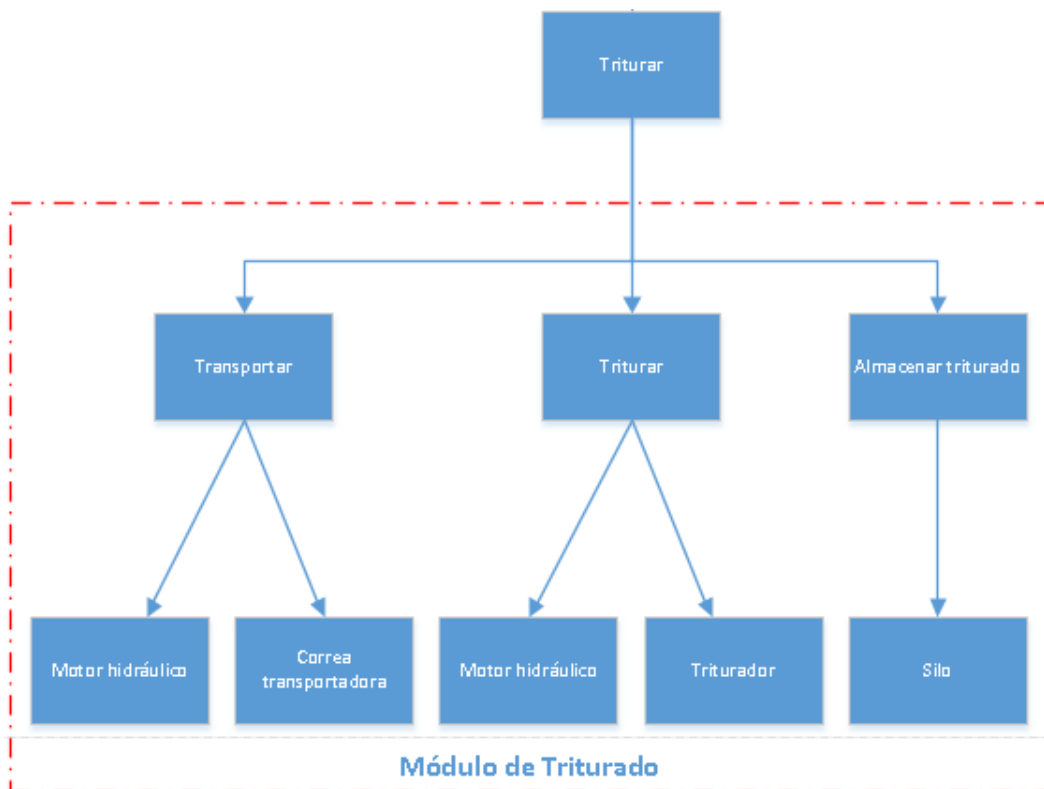


Figura 19: Módulo de Triturado.

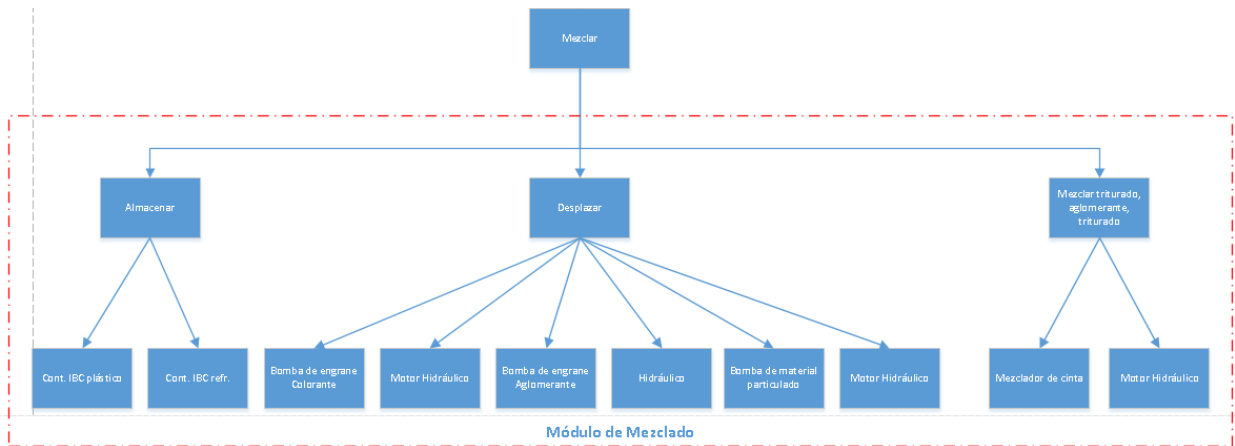


Figura 20: Módulo de mezclado.

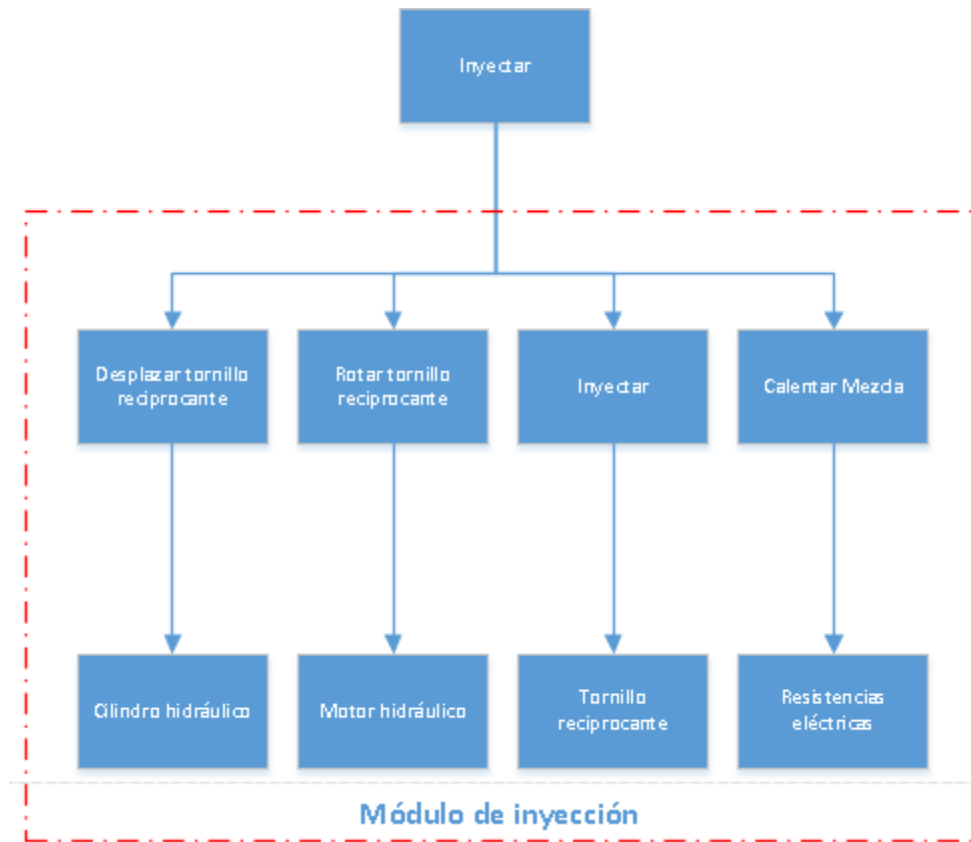


Figura 21: Módulo de inyección.

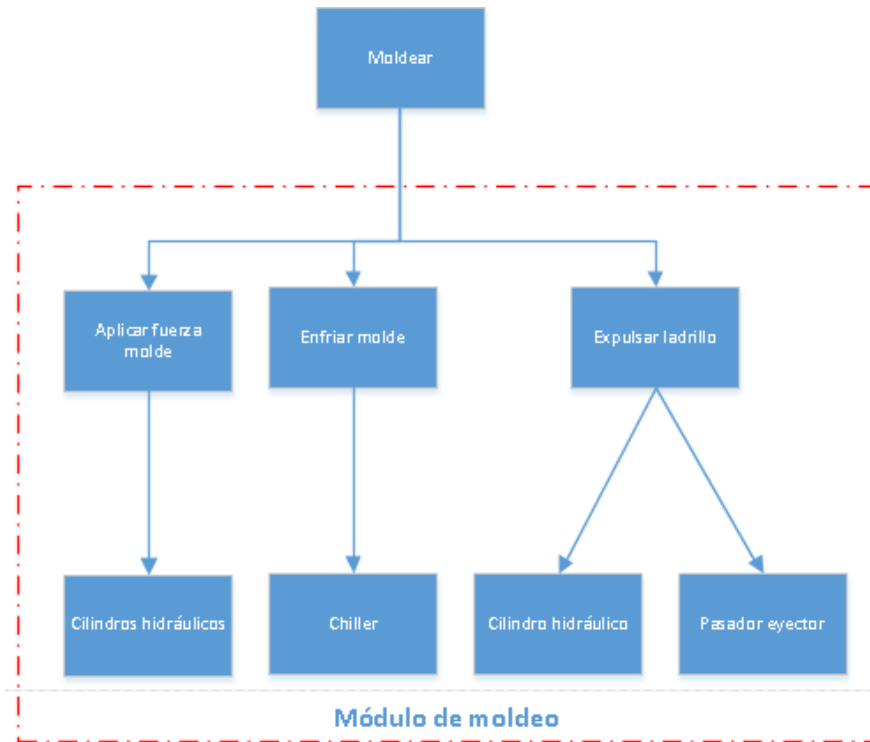


Figura 22: Módulo de moldeo.



Figura 23: módulo de soporte estructural.

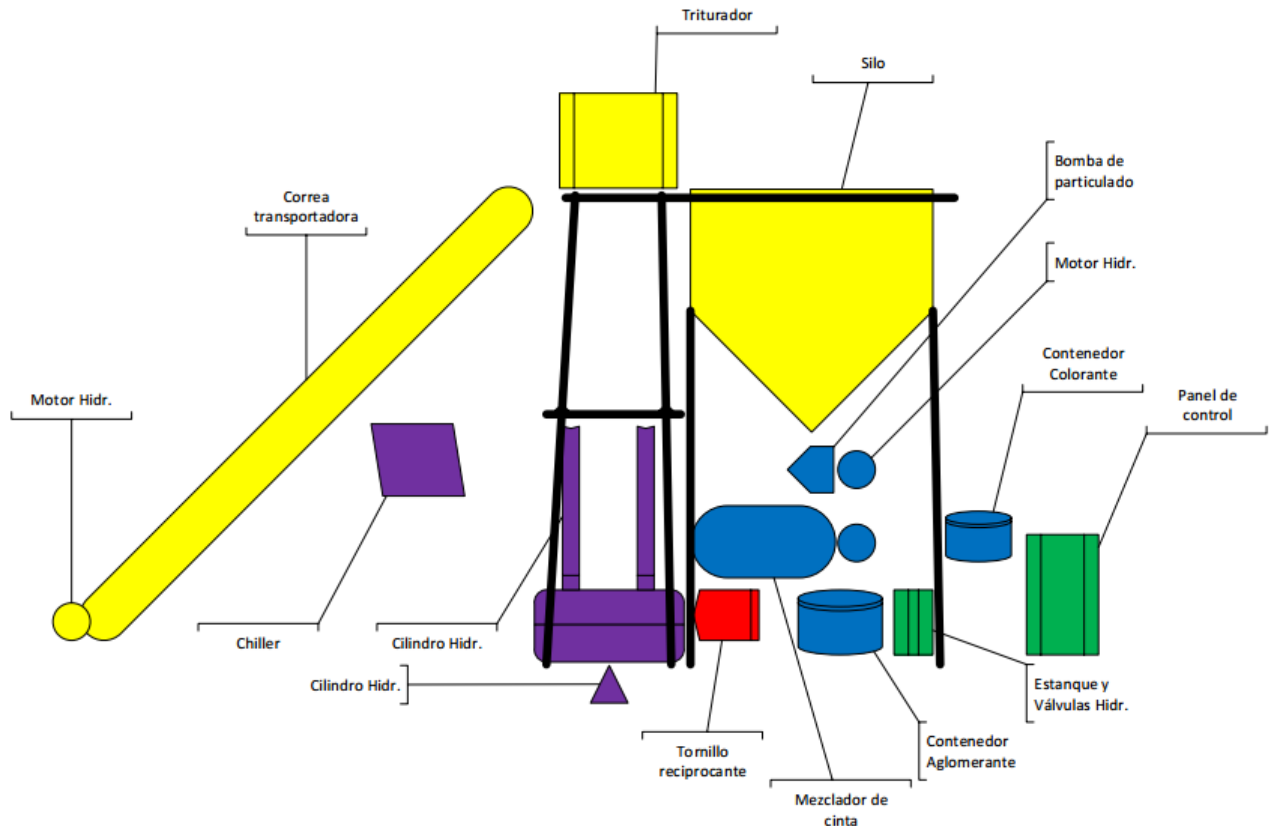


Figura 24: Bosquejo de funciones y grupos. Se puede observar en color amarillo el grupo de triturado, azul el de mezclar, rojo el de inyectar, violeta el de moldear, verde el de control y negro el soporte estructural.

Como se ve en la figura anterior, los componentes se distribuyen al inicio del ciclo productivo de forma vertical y al final del ciclo horizontal. Comienza en el módulo de trituración (amarillo) y concluye en el de moldeo (púrpura). Dicha distribución vertical tiene relación con minimizar el uso del triturador, ya que, en combinación con el silo, se puede triturar y acumular. Así mismo, la orientación horizontal en la fase de inyección y moldeo, tiene que ver con la posición de fábrica del tornillo recíprocante. Ya que, en parte, la finalidad de este es guiar la mezcla controladamente y si estuviera en orientación axial vertical, la gravedad desplazaría la mezcla de una forma no adecuada.

Por otro lado, una vez finalizada la fase de mezclado (fin orientación vertical), se busca que el diseño no se alargue en demasía (por ejemplo, en componentes en serie). Es por eso que el tornillo recíprocante (rojo), orienta la mezcla hacia la correa transportadora, generando un diseño más compacto.

6. Diseño de configuración

En esta fase del diseño, se busca conglomerar las características previamente establecidas, y además, determinar estimativamente algunos componentes comerciales por catálogos del mercado.

6.1. Componentes

Los componentes que componen el diseño de la máquina se exponen en la siguiente tabla. Se pueden ver con una letra E (estándar), los componentes los cuales se extrajo el diseño de una librería. También se pueden ver con una letra I (incluidos), los que no se ven en el diseño, ya que son muy pequeños y están agrupados en otro componente. Este es el caso de sistema de control, debido a que contiene artefactos de control, sensores, entre otros.

Tabla 47: Tabla de componentes que contiene el diseño escogido.

Módulo	Componente Principal	Componentes asociados
Triturado	Triturador (E)	Correa transportadora
		Rodamientos correa transportadora
		Motor oleo hidráulico correa transportadora (E)
		Estructura para triturador
		Rodamientos triturador
		Poleas triturador
		Motor oleo hidráulico triturador (E)
		Silo
Mezclado	Mezclador de cinta	Motor oleo hidráulico para mezclador de cinta (E)
		Bomba para particulado (E)
		Motor oleo hidráulico para bomba de particulado (E)
		Estanques de Pigmentos (3)
		Motor oleo hidráulico para estanques de pigmentos (E)
		Bomba oleo hidráulica para estanques de pigmentos (E)
		Estanques de resina
		Motor oleo hidráulico para estanques de resina (E)
Bomba oleo hidráulica para estanques de resina (E)		
Inyección	Tornillo recíprocante	Cilindro y motor oleo hidráulico para tornillo recíprocante
Moldeo	Molde	Cilindros oleo hidráulicos para molde
		Cilindro de membrana para molde
		Chiller

Módulo	Componente Principal	Componentes asociados
Soporte estructural	Estructura General	Estructura triturador
Sistema de control	PLC (I)	Sensor de ángulo (I)
		PID (I)
		Termocuplas (I)
		Manómetros (I)
		Resistencias eléctricas

6.2. Correa transportadora

Dicho componente se diseña para tener un ángulo de inclinación de 30° con respecto a la horizontal del terreno. También debe contener protección en las partes móviles, y debido a que la correa está inclinada, debe poder descansar en la estructura principal. El ancho de la correa debe ser compatible con el depósito que recibirá los envases para su trituración. Debe contener un motor oleo hidráulico para generar el desplazamiento de la correa. Para suministrar envases a la correa, operarios deben cargar cajas a la correa en movimiento.

6.3. Triturador

El componente debe estar dispuesto más bajo que el punto más alto de la correa. De esta forma, y por gravedad, generar el descenso del envase a triturar hacia la entrada del triturador. Para evitar sobre exigir el sistema oleo hidráulico, se debe montar dicho motor, asociado a la trituración, en un nivel menor de altura. Debido a que el triturador se encuentra en altura, se necesita poder transmitir movimiento rotacional entre triturador y motor, el cual se llevará a cabo por poleas. Estas deben estar montadas a los ejes respectivos del triturador y el motor. La correa montada en las poleas está cubierta para proteger a los operarios de posibles atrapamientos

6.4. Silo

Este componente debe ser de gran tamaño, ya que su finalidad es acumular triturado de Tetra Pak. Se debe distribuir en el conjunto de equipos, de forma tal que pueda ser desmontado y montado de la estructura, por medio de un puente grúa o una grúa pluma. Respecto a las medidas que se ven en la imagen a continuación, se obtiene un aproximado de cantidad de cajas que se pueden acumular y los bloques a generar con carga llena.

Si consideramos dos prismas aproximados, un cilindro de diámetro A y altura B, y por otro lado una pirámide de base circular con diámetro A y altura C. El volumen contenido del silo es aproximadamente:

$$V = \frac{\pi \cdot A^2}{4} \cdot B + \frac{\pi \cdot A^2}{4} \cdot \frac{C}{3}$$

Si A es 2 [m], B y C es 1 [m], entonces el volumen que contiene la estructura es aproximadamente 4,2 [m³].

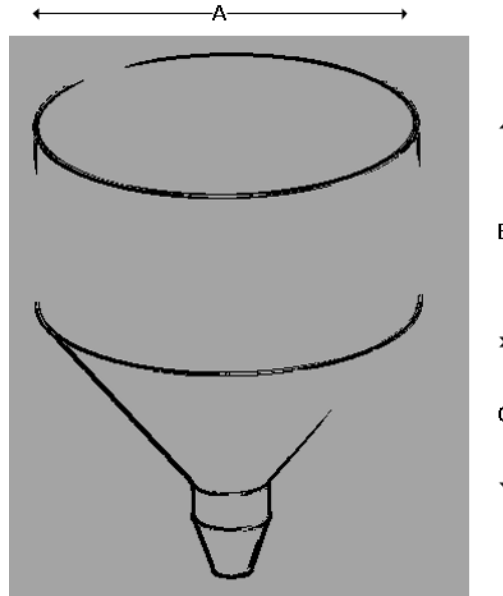


Figura 25: Dimensiones del silo.

Ahora si un elemento de triturado tiene medidas de espesor 0,000444 [m], y tanto el largo como ancho miden 0,003 [m], entonces el volumen de dicha partícula es $4 \cdot 10^{-9}$ [m³]. Por lo tanto, la cantidad aproximada de partículas que caben en el volumen del silo es:

$$N_{partículas} = \frac{V_{silo}}{V_{partícula}} = 1,048 \cdot 10^9 [partículas]$$

En el anexo 11.5, características de refuerzo matriz, se puede observar el cálculo de cuántas cajas se requieren aproximadamente para generar un bloque. Por lo anterior, se necesitan 7,14 cajas para hacer un bloque (40% de fracción de fibra). Y además la cantidad de partículas por caja es 6950 unidades. Por lo anterior, un silo de esas dimensiones sirve para generar:

$$Cajas \ a \ triturar \ para \ llenar \ silo_{teórico} = \frac{1,048 \cdot 10^9 [partículas]}{6950 [part/caja]} = 150826,7 [cajas]$$

Ahora, las partículas no ocupan completamente el volumen del silo, sino que también hay espacios entre ellos con aire. Por ejemplo, en pellets de madera, la fracción que utilizan del total del recipiente almacenador es 2/3 (66,6[%]) del volumen [32]. Aplicando un factor de 50[%] de aire y 50[%] de particulado se obtiene:

$$\text{Cajas a triturar para llenar silo}_{Real} = 150826,7[\text{cajas}] \cdot 0,5 = 75413,37 [\text{cajas}]$$

Por otro lado, para saber cuántos bloques se generan con dicho triturado se debe realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Bloques a generar por silo completo} = \frac{75413,8 [\text{cajas}]}{7,14 [\text{cajas}/\text{bloque}]} = 10562[\text{bloques}]$$

Esta cantidad de cajas a una velocidad de producción máxima de 240 [bloques/hr], se generan en 44 horas de autonomía de este insumo. Este dato permite saber que el dimensionamiento del silo está dentro de los rangos admisibles, ya que la idea es que el triturador y la correa transportadora funcionen lo menos posible.

6.5. Bomba de particulado

Se debe disponer en conjunto con el silo, de forma que el particulado por gravedad se deposite en esta. La bomba se accionará con un motor oleo hidráulico y debe depositar su contenido de forma controlada al mezclador de cinta.

6.6. Recipientes de resina y pigmentos

Se deben instalar en una superficie cómoda para su llenado y limpieza, por eso se disponen al exterior de la estructura. Los recipientes de pigmentos deben ser 3 (colores primarios), mientras en el de resina uno. Las dimensiones aproximadas de los recipientes de pigmentos son de $0,3 \times 0,3 \times 0,3 [m^3]$, mientras que el perteneciente a la resina tiene volumen $1 [m^3]$. En el anexo 11.5, se obtiene que para un ladrillo se necesita $0,00029 [m^3]$ de resina (con 40[%] para la fracción másica de fibra), por lo tanto este volumen de estanque alcanza aproximadamente para 3487 bloques.

Ambos tipos de recipientes se posicionan sobre una base de concreto, para favorecer la limpieza y sobre todo la seguridad.

6.7. Mezclador de cinta

Dicho equipo se posiciona, para facilitar el movimiento de fibra, bajo la bomba de particulado. Utiliza un motor oleo hidráulico para realizar la mezcla y tiene un diseño

de semitambor para permitir un mejor mezclado. A este componente llegan flujos de particulado, pigmentos y aglomerante. La descarga de este equipo se ubica en el punto más bajo del tambor, que desemboca hacia el tornillo recíprocante.

6.8. Tornillo recíprocante

Este equipo debe montarse bajo la descarga del mezclador de cinta. Está compuesto por una unidad oleo hidráulica rotatoria y de movimiento lineal, y por una tolva cuadrada que recibe la mezcla. Así mismo, también lo compone un sistema eléctrico de resistencias que calientan la mezcla y son parte interna del sistema. El montaje de estos componentes se lleva a cabo en una superficie de concreto para brindar al sistema estabilidad, seguridad, limpieza y accesibilidad.

Existe un método para saber el número de cavidades de un molde, en relación a las especificaciones del tornillo recíprocante [33]. Este se basa básicamente en comparar el número de cavidades máximo F_1 que puede generar la máquina con la cantidad realizable F_2 . La primera relaciona el volumen máximo por inyección S_v con el volumen de una pieza (un bloque) A_v . Así mismo, la segunda relaciona el rendimiento de plastificación L (volumen promedio por minuto), el número de inyecciones por minuto Z y finalmente el volumen de una pieza A_v . Las magnitudes F_1 y F_2 se obtienen:

$$F_1 = \frac{S_v}{A_v}$$
$$F_2 = \frac{L}{Z \cdot A_v}$$

Existen dos criterios aproximados para determinar el número de cavidades. El primero, y en orden jerárquico, es: “ $F_1 > F_2$, por lo tanto el número de cavidades efectivas es F_2 ”. Por otro lado, si $F_1 < F_2$, entonces el número de cavidades efectivas será $0,8 \cdot F_1$, ya que al ser este último un valor máximo a generar, siempre afectan ineficiencias que afectan el sistema.

Tomando el caso de la máquina inyectora de polímeros termoestables TB-210 de la empresa HWA CHIN [34], se tienen las siguientes especificaciones de ésta y de los bloques:

Tabla 48: Especificaciones de una máquina inyectora comercial y volumen de 1 bloque de mezcla resina triturado.

Especificación	valor	unidad
tasa de inyección	461	cm ³ /s
Peso del material inyectado	0,43	kg/iny
capacidad de plastificar	72	kg/hr
Número de inyecciones por minuto	2,79	iny/min
Vol. máximo por inyección	2200	cm ³ /iny
Volumen de 1 bloque	485,18	cm ³ /pieza

Se obtiene que el primer criterio no se cumple, ya que $F_1 = 4,53$ y $F_2 = 20,42$. Pero el segundo sí, y el número de cavidades o moldes simultáneos es 3,6. Dicho valor no alcanza los 4 ladrillos que se había estimado, pero demuestra que el valor de volumen requerido está cercano a los rangos de magnitud de los tornillos recíprocos comerciales. En caso del diseño a detalle de la máquina, es necesario un diseño especializado del tornillo para un suministro óptimo de mezcla.

6.9. Molde

El detalle del diseño del molde no es parte del alcance de este informe, pero se especifican ciertas características relevantes en relación a los demás componentes de la máquina. En el caso de este componente, se diseña para que la orientación entre las dos tapas que lo componen sea horizontal. Una inferior estática y una superior móvil. El tamaño tiene relación con la cantidad de ladrillos simultáneos que se busca generar, por lo tanto su volumen es de $0.6 \times 0.6 \times 0.6 [m^3]$.

En el molde ocurre la segunda fase de calentamiento para resinas termo estables donde se alcanzan temperaturas de 140 a 180 [°C]. Esta segunda fase tiene la finalidad de alcanzar la temperatura de consolidación dentro del molde y no en la fase anterior de tornillo recíproco.

Un perfil de temperaturas normal de una máquina de polímeros termoestables [35] se aprecia a continuación:

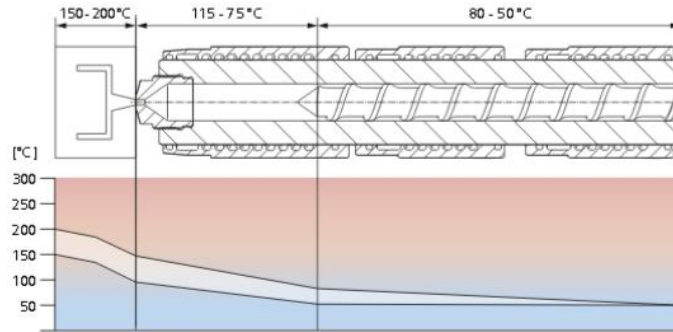


Figura 26: Perfil de temperaturas del tornillo y molde para una máquina inyectora de polímeros termoestables.

Por otro lado, el molde debe contener canales de enfriamiento, que circulan por el molde para acelerar que la mezcla llegue a la temperatura de consolidación. El componente encargado de generar el flujo y enfriamiento del fluido es el Chiller.

En la parte superior del molde, este debe contener sujeción o soporte para el empuje de cierre y apertura de los cilindros oleo hidráulicos. Así mismo, en la parte inferior debe contener un pasador o tornillo para que un cilindro de membrana empuje este y provoque la expulsión de los bloques.

El molde también contiene canales o conductos que desplazan la mezcla y la llevan al molde. En este caso, el método de inyección debería ser de multi componentes o de compuertas laterales. De esta forma, la mezcla se conduce por un canal principal y después se divide por bebederos hacia las cavidades a llenar. También, a producción de este molde es de 4 ladrillos simultáneos buscando ciclos de máximo 1 minuto. Este molde se monta sobre una superficie de concreto para mejorar la accesibilidad y limpieza. Para extraer los bloques, se utiliza un cilindro de membrana montado con expulsores que separan los ladrillos de los bloques.

6.10. Cilindros oleo hidráulicos de compresión y expulsión

Los cilindros de compresión forman parte del sistema de cierre de la máquina. Se montan en la estructura de la máquina, cuya finalidad es ejercer fuerza. Inicialmente estos cilindros deberían ser de doble efecto, para poder ejercer presión sobre el molde, izar la parte superior, y así, extraer los bloques.

Por otro lado, el cilindro de expulsión, se posiciona bajo el molde y sirve para accionar los pines o ejes eyectores. Este cilindro debería ser de tipo membrana, para poder posicionarse bajo el molde y generar el leve movimiento de expulsión.

6.11. Chiller

Este equipo es el encargado de enfriar el molde a través de sus canales especiales destinados a esta función. Cabe destacar que este equipo se adquiere bajo las especificaciones técnicas requeridas y sus requerimientos son energía eléctrica e insumos como fluido calorífico, filtros, entre otros.

6.12. Unidad oleo hidráulica

Dicho componente está compuesto por un estanque y una serie de válvulas, cuya finalidad es direccionar el flujo al actuador adecuado de la máquina.

6.13. Unidad de control

Está formado por un conjunto de sensores, procesadores de información, que permiten generar el circuito del proceso. Este será comandado por una sola persona, la cual accionará el sistema de control en el extremo opuesto a la correa transportadora. La razón de posicionar la unidad de control en este lugar, es para evitar que esté cerca de componentes móviles o de temperatura elevada.

6.14. Características estructurales

La estructura está diseñada para servir como sujeción a los componentes, y de forma especial al silo, también a la estructura para trituración, correa y sus elementos de protección. La máquina y su estructura forman un prisma trapezoidal, favoreciendo con su simetría, la distribución de fuerzas. También, la estructura debe contener vigas doble T (IPN).

6.15. Elementos oleo Hidráulicos

En la máquina se encuentran una serie de elementos que utilizan como fluido de trabajo aceite oleo hidráulico. Dado que la fuente de trabajo principal es la energía oleo hidráulica, se necesitan una serie de componentes de esta naturaleza. Según las características recopiladas de diseño, se requieren 6 motores, 4 bombas, 1 de actuador cilindro/motor especial para el tornillo recíprocante, 2 cilindros doble efecto y un cilindro de membrana. Éstos deben ser dimensionados y diseñados para satisfacer las necesidades de los demás componentes de la máquina en cuestión.

6.16. Diseño CAD

Tomando en consideración el estudio del diseño conceptual previo, se desarrolla un modelo en software CAD Inventor 2015. A continuación, se muestran un conjunto de vistas de la máquina generadora de bloques.

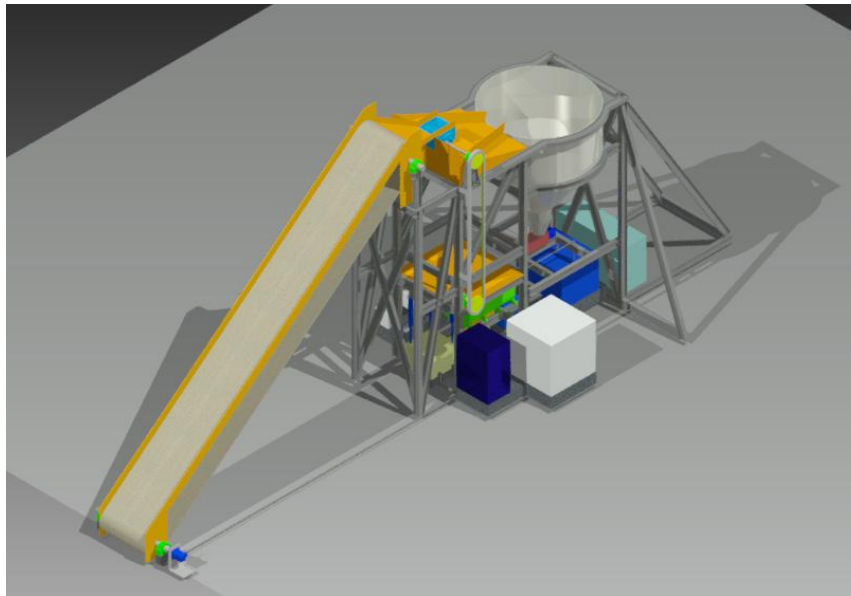


Figura 27: Vista isométrica de la máquina generadora de bloques.

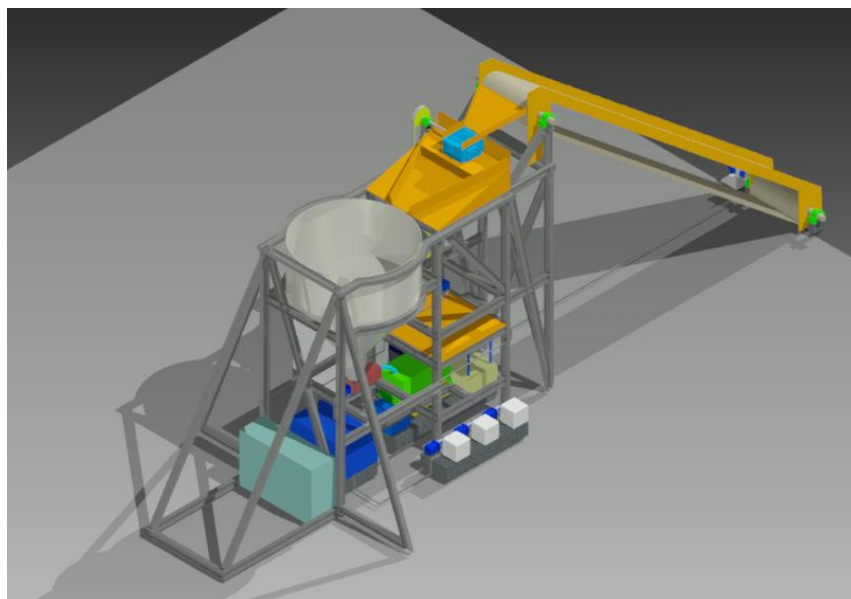


Figura 28: Se aprecia en la zona superior el silo y la estructura del triturador en naranja.

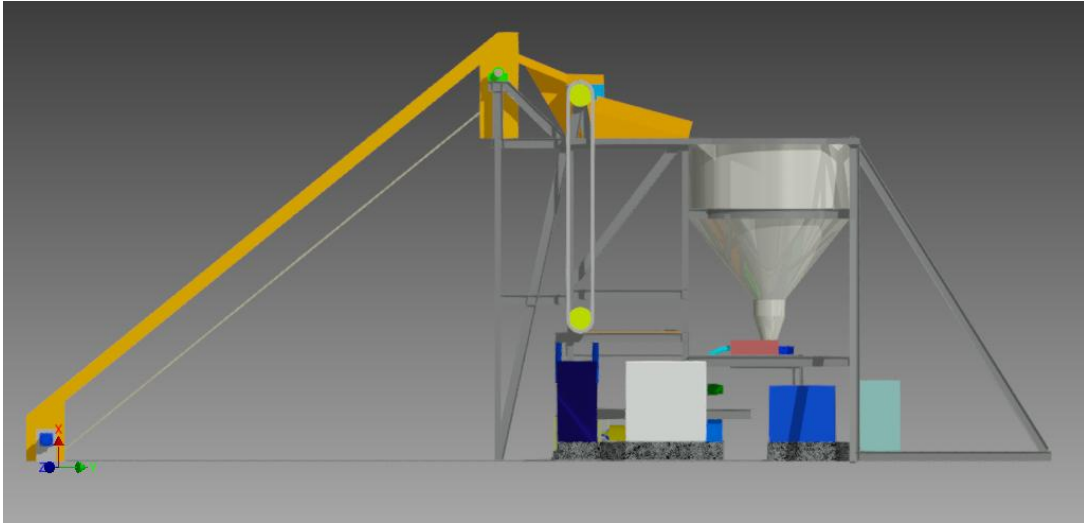


Figura 29: Vista frontal de la máquina generadora de bloques.



Figura 30: Vista trasera de la máquina generadora de bloques.

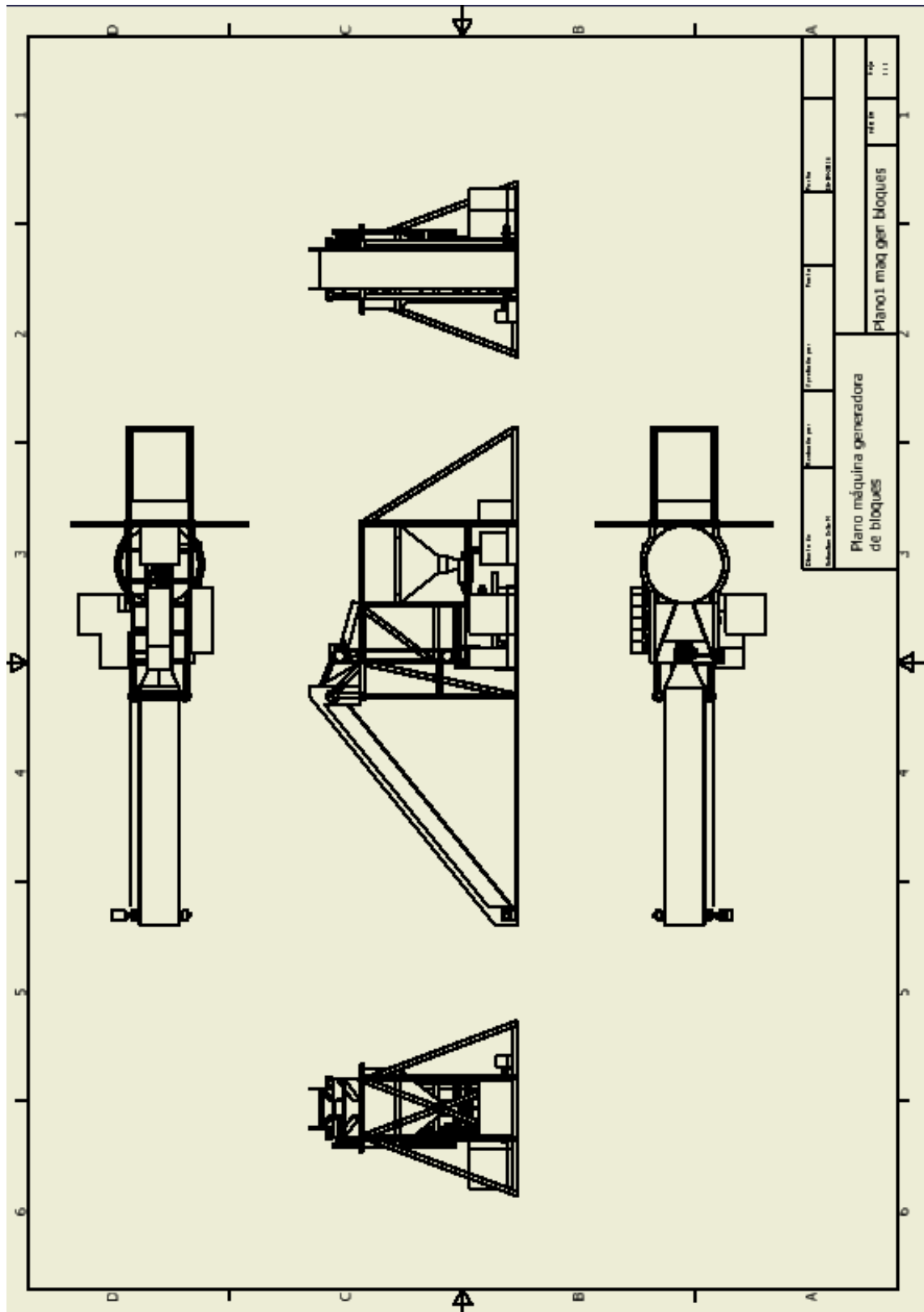


Figura 31: Plano 1 de máquina generadora de bloques.

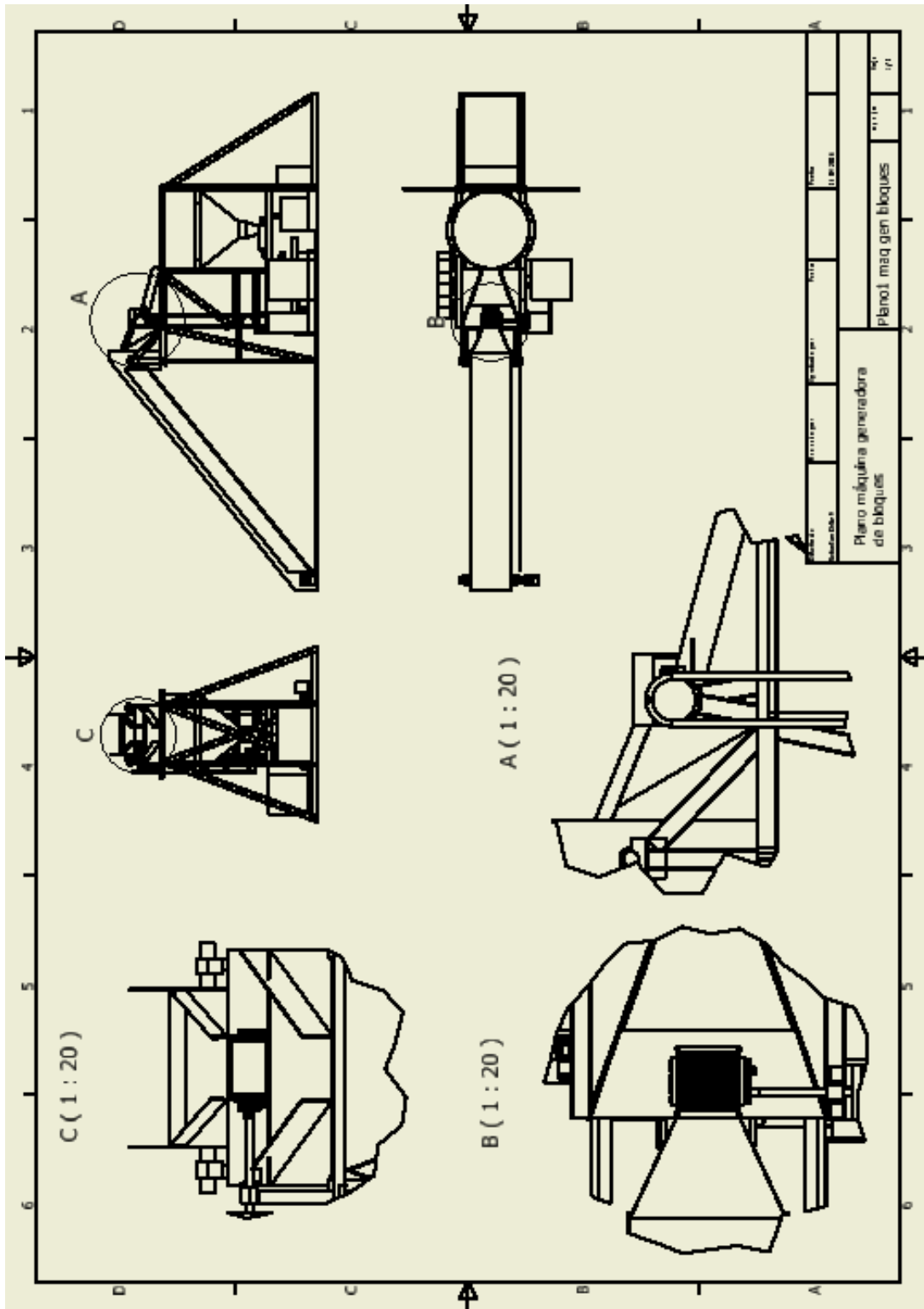


Figura 32: Plano 2 de máquina generadora de bloques. Se pueden apreciar los detalles del triturador y su estructura en A, B y C.

7. Fabricación de un prototipo de bloque con impresora 3D

Este capítulo tiene la finalidad de exponer las características básicas de diseño para la generación de un bloque. Para poder desarrollar este prototipo, es necesario tener previamente claro conceptos referentes al ladrillo estándar de arcilla.

7.1. Ladrillo

Un ladrillo es una “masa de barro, en forma de paralelepípedo rectangular, que, después de cocida, sirve para construir muros” [36]. En la siguiente figura se puede ver una imagen que explica las denominaciones de las caras de un ladrillo según la normativa española de ladrillos y bloques.

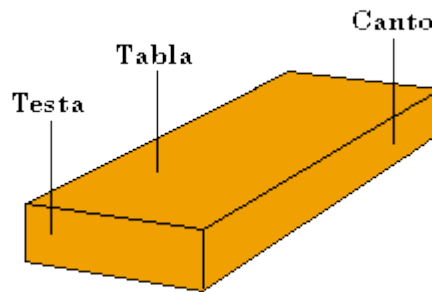


Figura 33: Nombres de las caras de un ladrillo [37].

7.1.1. Ladrillo de arcilla

Existen diversos tipos de ladrillos según la normativa de ladrillos y bloques española [37].

- Macizo: Ladrillo macizo o con taladros en cara tabla.
- Perforado: Ladrillo con taladros en cara tabla.
- Hueco: Ladrillo con taladros en cara canto.

El proceso de fabricación consta de 8 fases [38]. Dado que el material principal de los ladrillos estándar es la arcilla, se necesita triturar esta en finas partículas, homogenizando físicamente esta materia prima. Las fases son las siguientes: Maduración, tratamiento mecánico previo, depósito de materia prima procesada, humidificación, moldeado, secado, cocción y almacenaje.

7.2. Ladrillo de Tetra Pak®

Debido a que en el mundo no existe este concepto de diseño, se extraen ideas relevantes de otros bloques, principalmente de los de arcilla y adobe, estos últimos llamados ladrillos ecológicos en Sudamérica. Ver en el capítulo “Desarrollo del diseño conceptual”,

sección Análisis de benchmarking, la máquina Graco Ram Hidráulica Semiautomática, que genera dichos bloques.

7.2.1. Especificaciones Ladrillo

Para poder obtener las propiedades del ladrillo, es necesario realizar un estudio de masas y volúmenes de la mezcla. A partir de propiedades básicas como la proporción másica de refuerzo y masa total del ladrillo, se puede obtener un valor estimado del volumen total que ocupará este bloque. En el anexo 11.5. Se muestra con claridad los cálculos realizados para obtener las características de la mezcla refuerzo-matriz. La finalidad de dichos cálculos es definir constantes iniciales como el peso de la mezcla y obtener el volumen y las dimensiones aproximadas de un ladrillo compacto.

Importante es destacar que el ladrillo no necesariamente debe ser compacto, ya que el molde le brinda la posibilidad de tener cavidades y de esta forma tener más volumen, por el mismo peso. Se realizan cálculos para obtener las variaciones de volumen en comparación a especificaciones de peso de 1[kg] y 0,5[kg], y se obtiene que están en relación 2:1 en sus parámetros. Por lo anterior, se asume que las dimensiones obtenidas para un bloque de 1[kg] sólido, se pueden obtener con la mitad de mezcla en un molde con cavidades que generen espacios sin mezcla.

Las especificaciones obtenidas son las siguientes:

- Que el largo sea el doble del ancho.
- El peso del ladrillo sea 0,5 [kg].
- Fracción másica de fibra del ladrillo sea el 30 [%] del total.
- El largo sea 0,16 [m].
- El ancho sea 0,08 [m].
- La altura sea 0,075 [m].

Por otro lado, los objetivos aplicados al diseño del prototipo son:

- Que tenga perforaciones para utilizar refuerzos.
- Que su diseño tenga forma que facilite el ensamblaje
- Que no requiera cemento para su unión.
- Proporcione fácil almacenamiento antes de la construcción.
- Al instalarse no debe requerir conocimientos previos de albañilería.
- Sea de geometría regular en sus caras.
- Al trabajar con este y generar configuraciones, no sea un trabajo sucio.

7.3. Ladrillo generado en impresora 3D

A partir de las especificaciones anteriores, se procede a diseñar el ladrillo en software de diseño CAD, generándose el siguiente modelo:

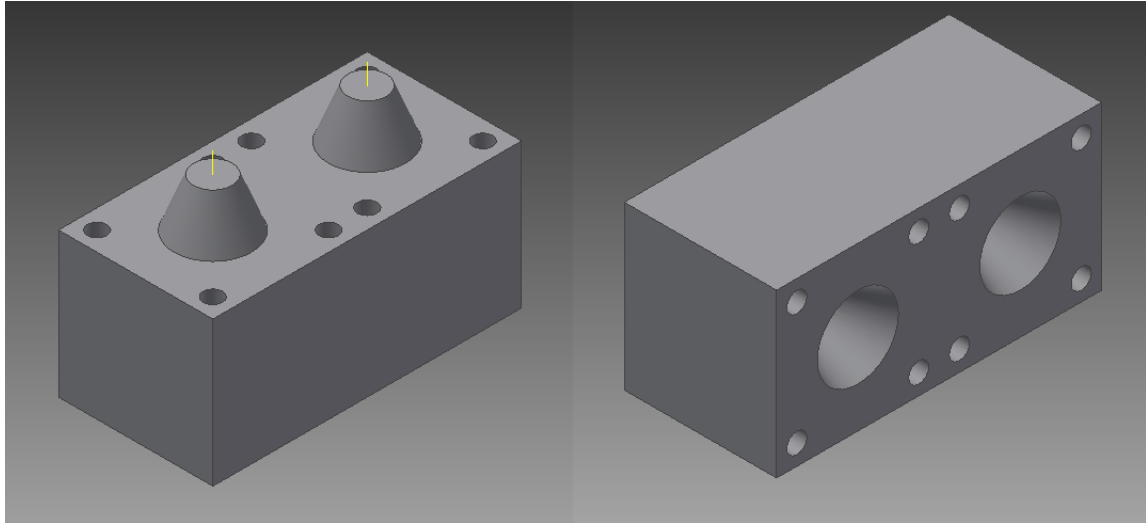


Figura 34: Vista isométrica del modelo.

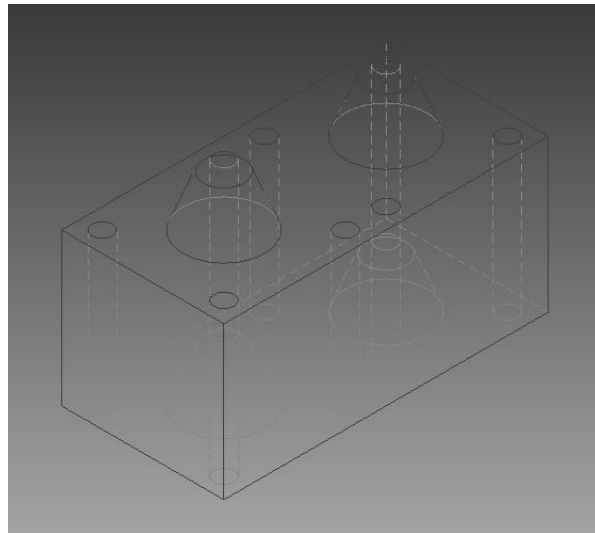


Figura 35: Vista isométrica del bloque en la cual se pueden ver con línea de segmento, las cavidades internas del bloque.

Desde este diseño en CAD, se procede a la impresión 3D del modelo. Cabe destacar que el software prepara el diseño para respetar el área externa y las cavidades del diseño, pero modifica el interior según el parámetro de densidad a configurar. Dicho valor, permite generar una distribución desde lo más denso (100%), hasta imprimir sólo el área externa y cavidades (0%). Este último puede ser no desarrollable por cuestiones de diseño, ya que la impresión muchas veces necesita estructura base para superponer las capas y el diseño de la

figura no se lo permite. Se escoge 10% de densidad para el bloque, ya que su fin no es estructural y solo demostrativo, el cual se puede ver en el siguiente cuadro comparativo:

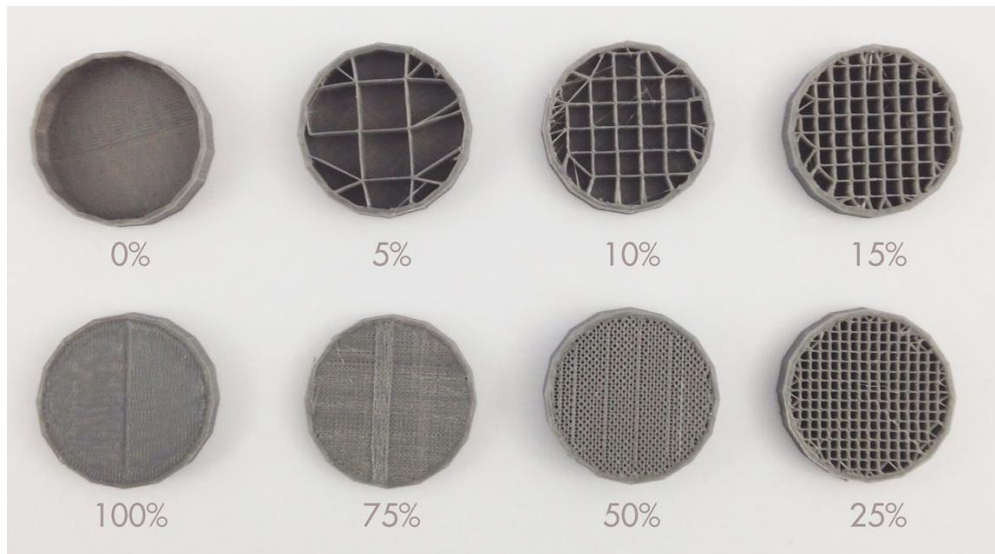


Figura 36: Cuadro comparativo de densidades de impresión 3d.

El modelo 3d obtenido a partir de la máquina Makerbot Replicator 2X se observa en la siguiente imagen:

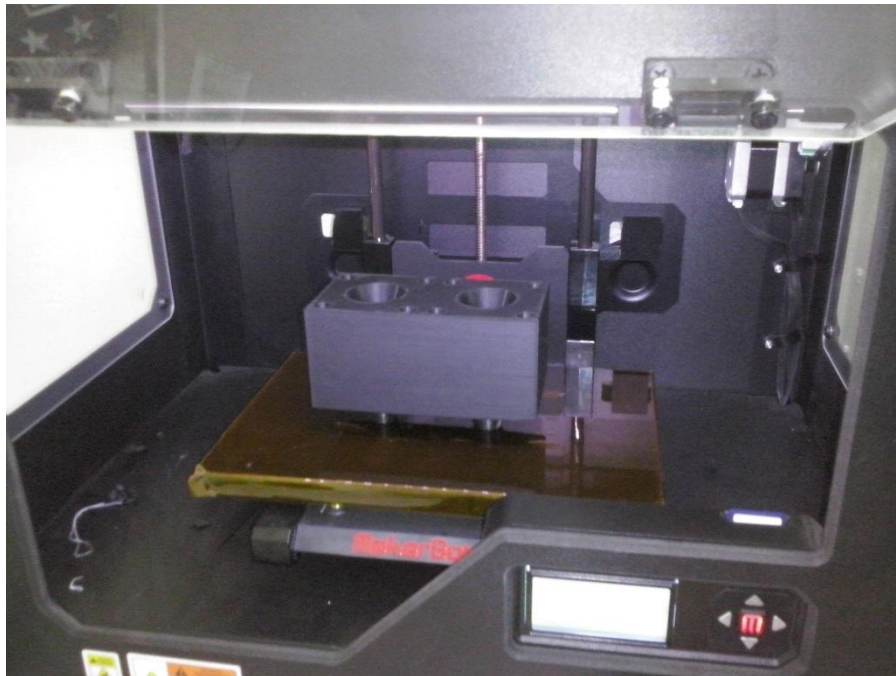


Figura 37: Diseño impreso en MakerBot Replicator 2X. La posición de la imagen fué la escogida para imprimir el bloque.

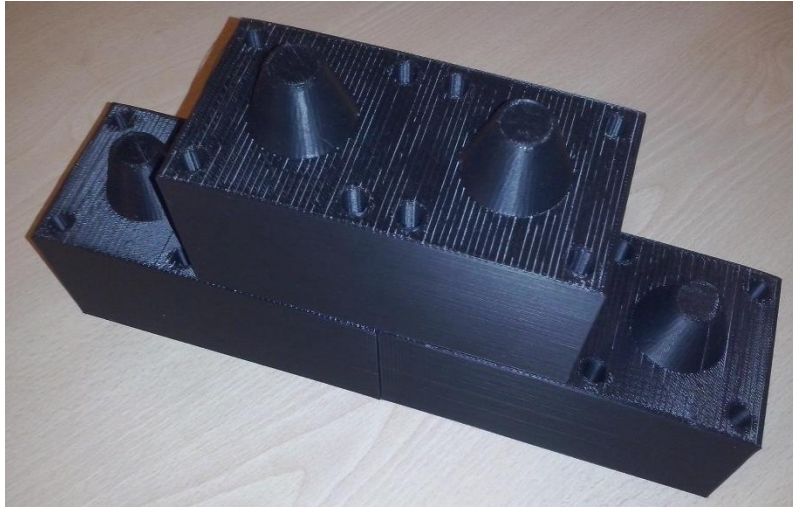


Figura 38: Tres bloques generados a partir de la impresión 3D ensamblados en disposición a soga.



Figura 39: Vista en corte de una de las puntas superiores del ladrillo. Se puede apreciar la densidad de impresión 15[%].

Por otro lado, a partir del diseño CAD de los bloques, se genera un diseño para los moldes. En la siguiente imagen se puede ver que este contiene: cuatro cavidades interiores, un canal bebedero, circuito de refrigeración interior, cavidad para resistencias eléctricas y pernos eyectores.

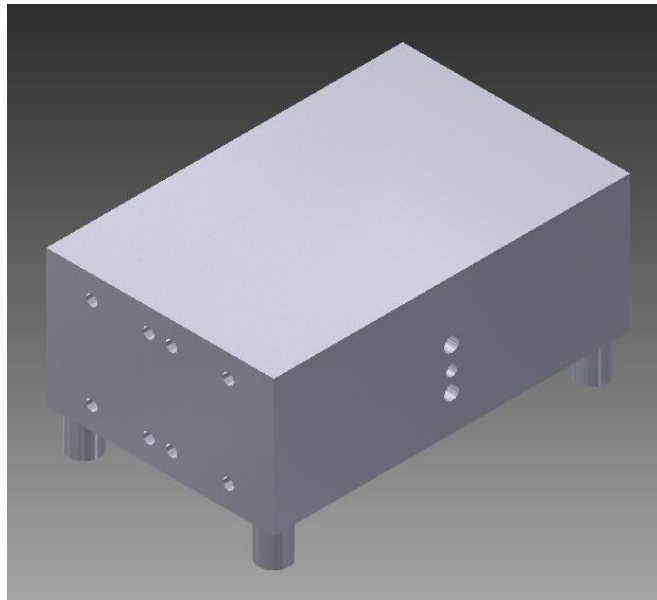


Figura 40: Vista isométrica del molde. Se observan a un costado cuatro entradas y salidas de tubería para el refrigerante. Y al otro costado, en el centro, el canal para inyección.

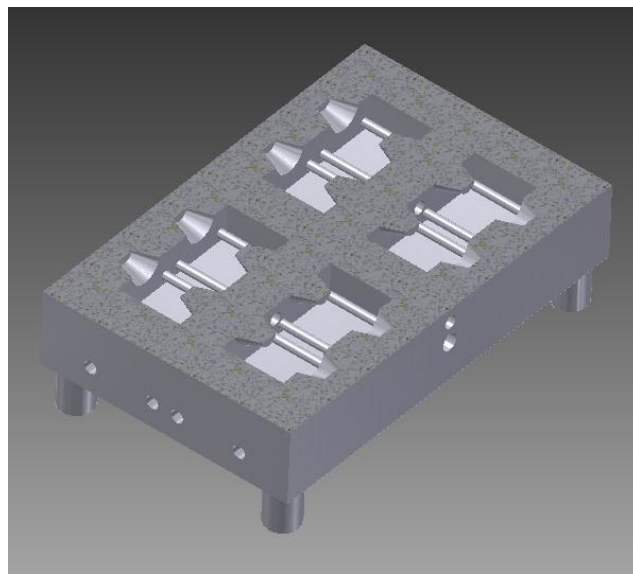


Figura 41: Corte central que separan las dos mitades del molde.

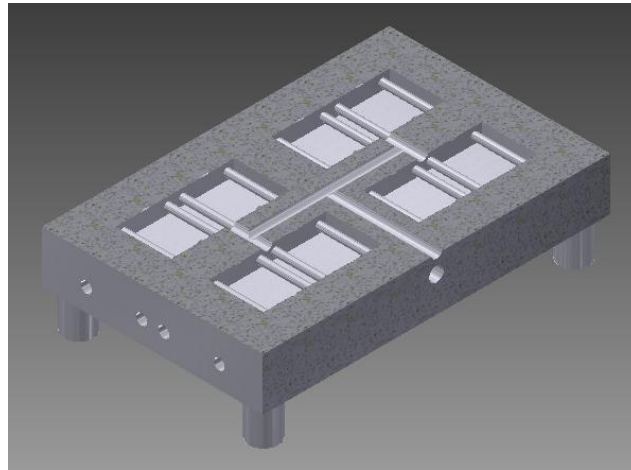


Figura 42: Corte a la altura del canal bebedero para inyectar mezcla.

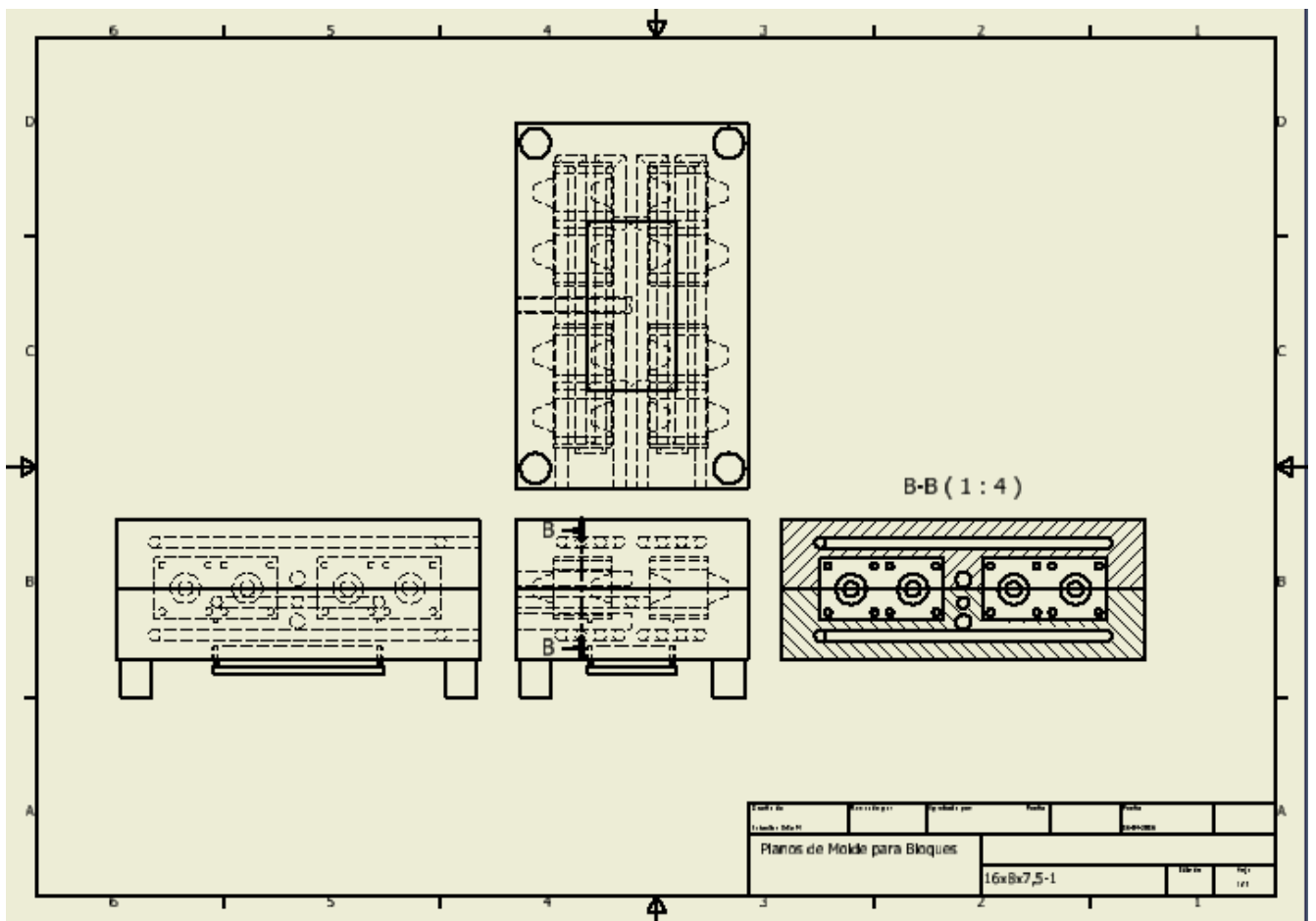


Figura 43: Plano del molde de cuatro cavidades. Se observa en el inferior, la placa con sus pasadores eyectores que generan la expulsión de los bloques.

8. Análisis energético comparativo

A partir del estudio realizado en los capítulos anteriores, se desarrolla un análisis post diseño conceptual, que sirve para verificar uno de los múltiples ámbitos que encierra la viabilidad de un proyecto, el consumo eléctrico. Se compara una planta ladrillera versus una planta de paneles aglomerados de triturado de Tetra Pak® similar al OSB.

8.1. Comparación básica de consumo eléctrico de la industria ladrillera y el concepto desarrollado

Se sabe que la industria ladrillera es una de las que más requiere energía térmica, debido a sus grandes hornos de petróleo o carbón. Pero esta vez, sin desmerecer lo anterior, se realiza una comparación básica de consumo eléctrico anual del concepto desarrollado, versus el consumo similar de una industria ladrillera.

En el año 2008, se desarrolla una tesis donde se realiza un análisis técnico económico y energético la planta ladrillera Santander en Colombia[39]. El consumo energético eléctrico se ve distribuido claramente en el siguiente diagrama Sankey, donde se observa que la mayor cantidad consumida está entre el extrusor, molino y triturador.

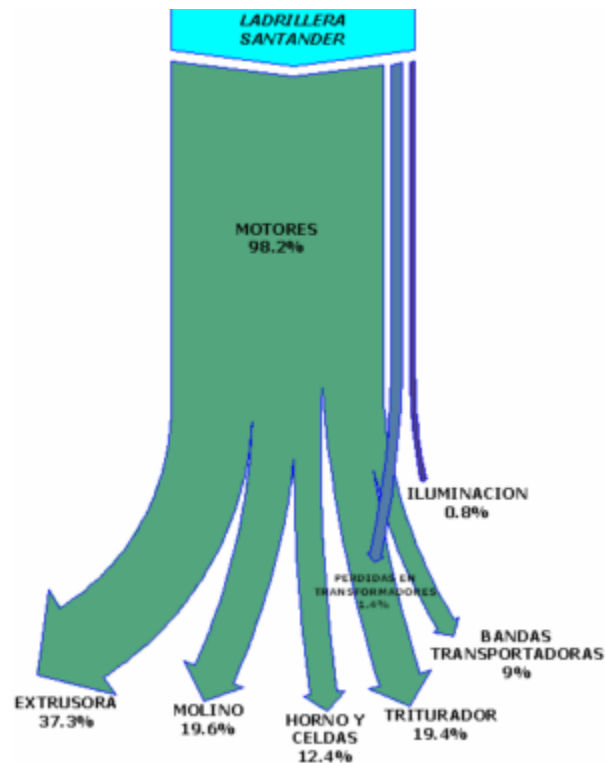


Figura 44: Diagrama Sankey de consumo energético de la planta de ladrillos.

En la siguiente tabla se ve la cantidad de consumo energético eléctrico mensual en las diversas áreas de máquinas:

Tabla 49: Consumos eléctricos mensuales de la planta ladrillera Santander.

Distribución de energía eléctrica				
Tipo de consumo	Linea de consumo	Consumo kWh/mes	Energía eléctrica %	% total
Motores	Extrusora	35829,39	37,29%	97,65%
	Molino	18827,43	19,60%	
	Horno y celdas	11930,01	12,42%	
	Triturador	18616,25	19,38%	
	Cinta transp.	8619,1	8,97%	
Iluminación	Luminarias incand.	780	0,81%	0,81%
	Luminarias Fluo.			
Transformadores	Transformador 15 kVA	119	0,12%	1,54%
	Transformador 300 kVA	1356	1,41%	
TOTAL		96077,18		

Importante es notar que este es solo una tabla referida a consumos eléctricos, ya que existen otros consumos tan importantes como este en las ladrilleras, como son el caso del consumo térmico en petróleo o carbón.

Debido a que es complejo analizar superficialmente el consumo energético de una planta y en especial de la máquina generada en este trabajo, se estudia el caso de una planta de paneles de triturado de Tetra Pak® [40]. En el siguiente cuadro se puede ver el resumen de los consumos eléctricos por día de dicho estudio:

Equipo	Cant.	Potencia [kW]	Horas func. [hrs]	Consumo [kWh/día]
Molino de cuchillas	1	22,5	2	45
Prensa hidráulica (2)	2	11,25	9	202,5
Resistencia eléctrica (8)	8	20	8	1280
Bomba de agua-refrigeración	1	0,75	10	7,5
Zaranda vibratoria	1	0,75	2	1,5
Extractor centrífugo	1	1,5	2	3
Intercambiador de calor	1	0,375	4	1,5
Faja Transportadora	1	0,75	10	7,5
Sierra circular	1	1,5	5	7,5
Iluminación	1	2,3	10	23
Total				1579

Si dicha planta trabaja 25 días al mes se obtiene un consumo por mes del orden de 39475 [kWh/mes]. Como se puede observar, el consumo de la planta generadora de paneles reciclados es 60[%] menos que la planta tradicional de bloques de arcilla. Es importante recordar también que el beneficio ecológico de reciclar es difícilmente calculable y menor comparable con un simple consumo eléctrico u de otro tipo. Debido a lo anterior, es posible inferir, que el orden de magnitud de los consumos de la máquina generadora de bloques será similar a dicha planta de placas de triturado. Hay diferencias en los equipos, ya que los procesos son diferentes (conformado por compresión e inyección), pero hay más similitudes que desigualdades.

9. Conclusiones

- Dado el creciente desarrollo industrial en todo el mundo, es necesario considerar no solo la calidad e impacto de los insumos, sino también la disposición final del producto como eje fundamental de la sustentabilidad de un proyecto. El Tetra Pak® es un envase excelente, ya que satisface múltiples necesidades que han logrado posicionarlo como un elemento esencial en la industria alimenticia. Ahora el nuevo reto es preocuparse de la disposición final.
- La fibra de Tetra Pak®, según los ensayos realizados, tiene módulo de Young de 4800 [MPa] aproximadamente, lo que lo posicionan en buen lugar como fibra para materiales compuestos. Importante recalcar que a pesar de que no fue un ensayo normalizado, se genera información relevante, ya que no existe amplia documentación para este material generado a partir de privados. Queda abierto el proyecto para que se desarrollen bloques con los insumos adecuados y de esta forma se realicen ensayos en detalle.
- Si se requiere un bloque con propiedades mecánicas para ser utilizado como muro de encerramiento no estructural, se necesita utilizar resinas termofijas, las cuales brindan más resistencia mecánica. Por otro lado, obliga a modificar ciertos parámetros y equipos del conformado de plásticos por inyección.
- Cuando se desea diseñar tanto la máquina como el producto, es necesario en algún momento del diseño, comunicar o relacionar los diseños. Para eso se desarrolla una matriz de objetivos del producto versus insumos de la máquina. También, se desarrolla una matriz que relaciona los objetivos del producto con los objetivos de la máquina. Con ambos se obtienen los insumos y objetivos más influyentes.
- No existe una normativa dedicada al peso admisible por un niño al cargar un juguete.
- Queda abierto el tema para una continuación hacía el diseño de detalle, análisis económico y su construcción, no solo de la máquina, sino también del molde.
- Existe tecnología para formar una máquina que cumpla con los requerimientos establecidos, pero como a todo proyecto, se deben realizar estudios complementarios para ver su factibilidad no solo en el ámbito tecnológico-ambiental (reciclaje), sino también económico, social y sustentable. Tópicos que en conjunto mostrarán, gracias a esta tesis, que en un futuro ideas de reciclaje serán el motor de grandes proyectos.

10. Bibliografía

1. Tetra pak, “Sustainability Report 2013,” Sverige, Suecia, 2013.
2. cenem, “Anuario estadístico,” 2013.
3. Tetra pak, “Reciclaje y recuperación, Un enfoque activo,” <http://www.tetrapak.com/cl/medio-ambiente/reciclaje-y-recuperacion>, 2014.
4. Garagorri, E., “Tetra Pak y papelería de concepción inauguran primer pulper para ceciclaje de envases larga vida en Chile,” 3, 2013.
5. Tetra pak, “RECYCLING OF TETRA PAK BEVERAGE CARTONS,” 2000.
6. Abreu, M., “Recycling of tetra pak aseptic cartons,” Markham, Canada, 1999.
7. Tetra pak, “Manual de Diseño, información y especificaciones de diseño,” 2006.
8. Tetra pak, “Las 6 barreras de protección del envase,” <http://www.tetrapak.com/co/las6capasdeproduccion>.
9. Repsol, “Secretos envase de Tetra Pak,” <http://blogs.repsol.com/innovacion/conoce-todos-los-secretos-de-un-envase/>, 2015.
10. Tetra Pak, “FAQs Tetra Pak,” <http://www.tetrapakrecycling.co.uk/faqs.asp>, 2014.
11. Fabricación e historia del papel.
12. Callister, W.D.J., “Fundamentals of materials science and engineering,” 5ta ed., John Wiley & Sons, ISBN 0-471-39551-X, 2001.
13. Tetra Pak, “Cuadernillo de contenidos y sugerencias para el docente,” http://www.tetrapak.com/cl/DocumentBank/Cuaderno_docente_Tetra_Pak_Chile.pdf.
14. Ayırmis, N., Candan, Z., and Hiziroglu, S., “Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay,” 2008, doi:10.1016/j.matdes.2008.04.030.
15. Chung, A., “Tectán, Reciclando Tetra Pak,” 6(6):83–85, 2003.
16. Tetra Pak, “Tecnologías de reciclaje,” <http://www.tetrapak.com/cl/medio-ambiente/reciclaje-y-recuperacion/tecnologias-de-reciclaje>.
17. Tetra Pak, “Calculating CO2 for a Tetra Pak Carton,” <http://www.tetrapak.com/environment/climate-change/co2footprint/carton-footprint/co2calculator>.
18. The carbon impact of bottling Australian wine in the UK : PET and glass bottles, 2008.
19. Pilz, H. and Fehring, R., “The impact of plastics on life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions in Europe,” (June 2010):1–45.
20. Nyström, T., “Production of panel board – a world overview,” 2000.

21. Robert, J., "Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials," Madison, Wisconsin, 2006.
22. Reinhart, Kevin Ann, "What Is the Difference Between Particle Board and Medium Density Fiberboard?," <http://homeguides.sfgate.com/difference-between-particle-board-medium-density-fiberboard-99189.html>.
23. Ecoplak, "láminas ecoplak® características técnicas," 2009.
24. Staab, G.H., "Laminar composites," ISBN 0750671246, 1999.
25. Roell, Z., "Product Information Xforce P , Xforce HP and Xforce K load cells," 5–8.
26. RAE, "Definición 'Método,'" <http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=IhOPwiShMDXX2S4PzXc1>, 2015.
27. Dieter, G.E. and Schmidt, L.C., "Engineering Design," ISBN 9780072837032, 2009.
28. Carlos Guajardo Miranda, "TRIZ/Innovación Sistemática," 1, http://www.cci.usm.cl/?page_id=12, 2010.
29. Blanco, F., "Tema 11: Moldeo por inyección," <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf>, 2016.
30. Ibarra, E.T., "Arquitectura integral y modular. El Caso de la industria automotriz.," 2005.
31. Karl, U. and Steven, E., "Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario.," McGraw-Hill Interamericana, Mexico DF, 2004.
32. European pellet Council, "Directrices del EPC para el almacenamiento de pellets de madera," 34.
33. Gutiérrez, F.S., "Materiales para la construcción de moldes.," <http://quantum.cucei.udg.mx/~saguf/descargas/materialesmoldes.pdf>, Apr. 2016.
34. HWA CHIN, "TB-series Thermosetting plastic injection specifications.," <http://www.hwachin.com.tw/Thermosetting-Plastic-Injection-Specifications.html>, Apr. 2016.
35. Arburg, "Thermoset injection moulding Arburg."
36. RAE Ladrillo, *Real Acad. Española*.
37. Madrid, C. De, Compendio de "NORMATIVA DE LADRILLOS Y BLOQUES," 2004.
38. Inspira web, "¿Cómo se fabrican los ladrillos?," <http://ladrillos.es/como-se-fabrican-los-ladrillos/>.
39. Leiva, C. and Martínez, D., "EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA EMO's APLICADOS A LOS PROCESOS CONVENCIONALES DE PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA LADRILLERA LADRILLERA," Universidad de la Salle, 2008.
40. Mitma, I., Canto, V., Hinojoza, M., Martínez, G., and Pinzás, A.C., "Diseño y

- evaluación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak a pequeña escala.,” *Rev. La Fac. Ing. Ind.* 12, 2004.
41. Fluke, “170 Series True-rms Digital Multimeter,” 2000.
 42. Kyowa, “What’s a strain gage?,” Tokyo.
 43. Permatex, Technical Data Sheet Permatex Plastic Bonder, 2, 2013.
 44. Groover, M.P., “Fundamentos de Manufactura Moderna,” ISBN 9789701062401, 2007.
 45. Kalpakjian, S. and Schmid, S., “Manufactura, ingeniería y tecnología,” 5ta edición, ISBN 9789702610267, 2008.
 46. Classifications, P., “Polymeric materials,” *Spring* 1–12, 2008.
 47. (GPO), U.S.G.P.O., “Consumer Product Safety Commission,” 2:431–432, 2011.
 48. Benjamin Moore & Co., “Revestimiento epoxi acrílico (Acrylic Epoxy Coating) (M43 / M44),” 2006.
 49. Ferroca, “Pigmento empastado,” 1, <http://www.ferroca.com/es/pigmentos-y-gel-coats/75-pigmento-empastado.html>, 2016.
 50. España, G. de, “Modificación apéndices A y C del anexo II del Real Decreto 1205/2011,” https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-8570, 2015.
 51. Icribérica, “Ficha de datos de seguridad R47 RESINA EPOXY,” ISBN 0522517803, 2015.
 52. Ajam, H.K.K., “UTILIZATION OF SHREDDED TETRA-PAK IN HOT MIX ASPHALT,” *AL-Qadisiya J. Eng. Sci.* 6(3):287–293, 2013.
 53. Sen, S., Ayrilmis, N., and Candan, Z., “Fungicide and insecticide properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay,” 2010, doi:10.5897/AJAR09.592.
 54. Lepe, D. and Pacheco, G., “Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik),” 3(2010):191–195, 2011.
 55. Quiros, N., “Estudio de pre-factibilidad técnica para la fabricación de materiales aprovechables a partir de residuos de Tetra Pak del canton de Oreamuno,” Universidad para la cooperación internacional, 2010.
 56. Derakane, “Derakane Momentum 411-350,” 2011.

11. Anexos

11.1. Instrumentos de medición y ensayo:

Para una mejor comprensión se definen los ejes x, y & z de la máquina de ensayo, los cuales se aprecian en la imagen a continuación. Notar que la fuerza se ejerce en el eje “y” de la máquina.

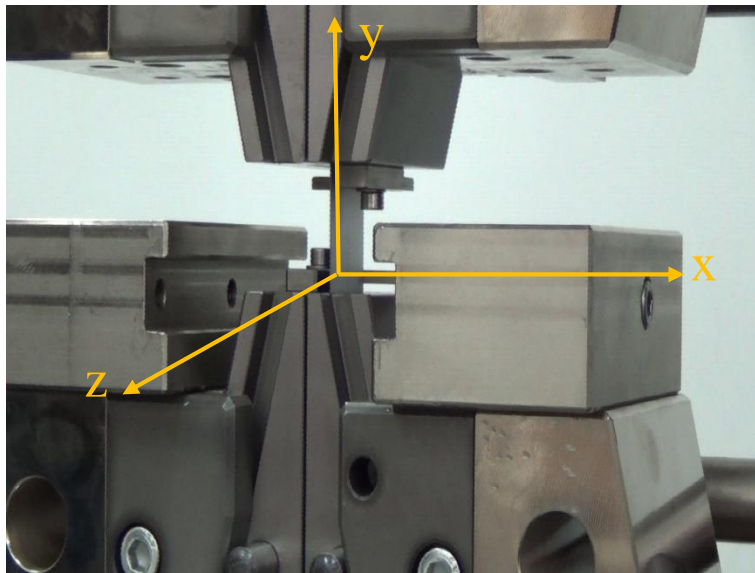


Figura 45: Direcciones de la máquina de ensayo: x, y, z.

Como se explica previamente, la máquina de ensayo en tracción debe ser de “Constant rate of crosshead movement type”. Pero adicionalmente a esto, la máquina utilizada debe configurarse y satisfacer para las necesidades del ensayo. Zwick Roell es la máquina donde se realiza el ensayo, la cual es de utilización universal. Están desarrolladas para realizar ensayos bajo normas internacionales y propias de la marca. Se utilizan por ejemplo para: control de aseguramiento de calidad, investigación, desarrollo, entre otros.

- **Zwick Roell serie Z30 (BT1-BF030TN.D30)**



Figura 46: Máquina de ensayo de materiales Zwick Roell serie BT1-BF030TN.D30.

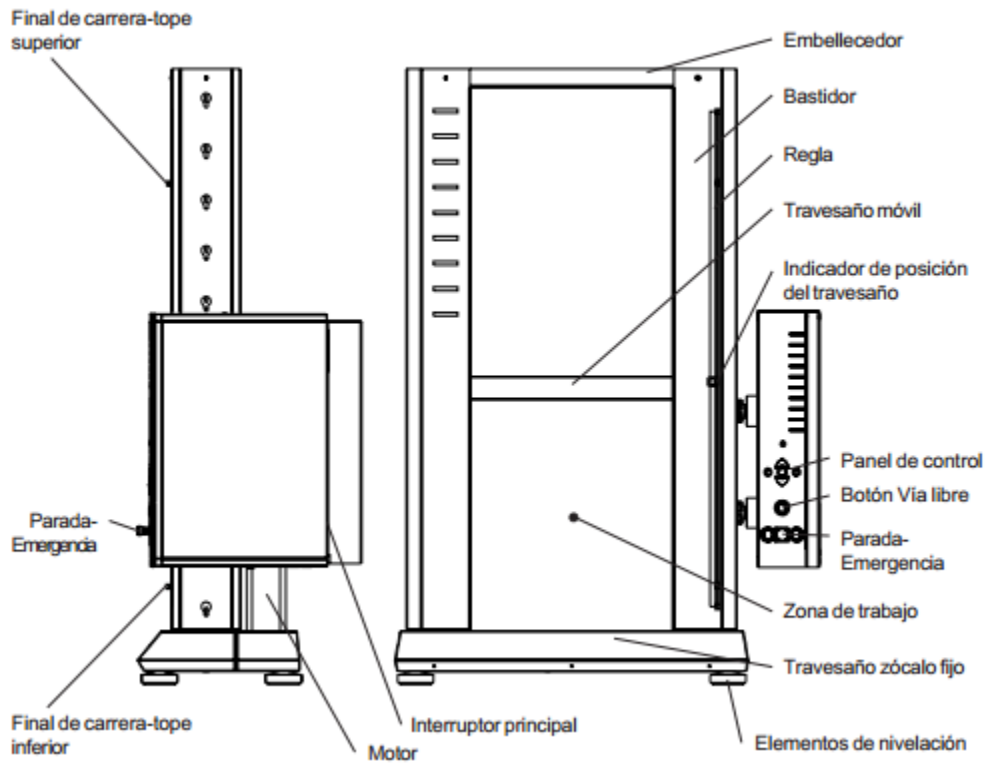


Figura 47: Elementos físicos de la máquina de ensayo Zwick Roell serie BT1-BF030TN.D30.

Tabla 50: Característica de la máquina de ensayos.

Características	Valor	Unidad
F_{nom}	30	[kN]
Velocidad del travesaño	0,1-300	[mm/min]
Precisión de la velocidad	1% de la V_{nom}	[-]
Resolución del recorrido	0,0025	[μm]
Repetibilidad del posicionado	< 2	[μm]

- **Captador de fuerza Xforce P 30[kN] Zwick Roell**

La función del captador de fuerza es convertir dicha fuerza en una señal de voltaje eléctrico que se utilizará para registrar la magnitud.

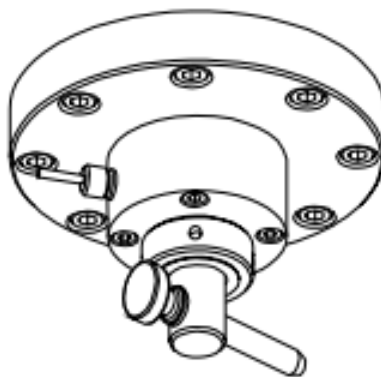


Figura 48: Captador de fuerza Xforce P de 30[kN].

Tabla 51: Características de la celda de carga.

Captador de fuerza: Xforce P		
Características	Valor	Unidad
F_{nom}	30	[kN]
Rango	0,4-100 % de F_{Nom}	[-]
	120-30000	[N]
Vía de conexión	Flange 1	[-]
Máx influencia de la T°K	±0,01%	$[F_{nom}/K]$

▪ Mandíbulas Zwick Roell

Estas tienen la finalidad de sujetar las probetas, y se utilizan junto con las mordazas, que mediante una palanca manual realizan el cierre simétrico. Se utilizan distintas mandíbulas según el tipo de probeta y material a ensayar. Solo se pueden montar en las mordazas en cuña.

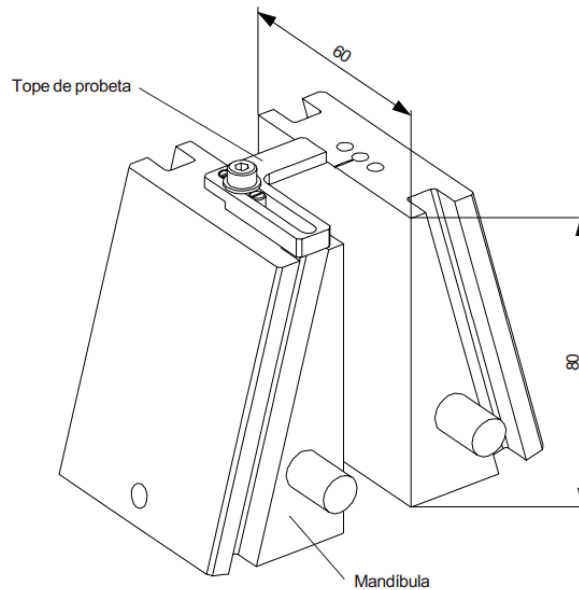


Figura 49: Mandíbulas planas para sujeción de probetas de cara llana plana.

Tabla 52: Características de las mandíbulas utilizadas en los ensayos de tracción.

Mandíbulas		
Características	Valor	Unidad
Máxima fuerza de ensayo	100	[kN]

Retículo de escamas	0,75	[mm]
Peso de cada mandíbula	1	[kg]

- **Multímetro Fluke modelo: 179 true RMS [41]**
 - Voltaje AC, true rms; 0,1[mV] a 1000[V]
 - Voltaje DC; 0,1 [mV] a 1000[V]
 - Continuidad, sonido garantizado para $<25[\Omega]$
 - Resistencia, 0,1 $[\Omega]$ a 50 $[M\Omega]$
 - Corriente AC, True rms; 0,01 [mA] a 10[A]
 - Corriente DC; 0,01 [mA] a 10[A]
 - Frecuencia 2 a 50 [kHz]
 - Resolución 2 $[\mu\epsilon]$



Figura 50: Multímetro Fluke 179 RMS.

- **Indicador de deformaciones y registrador Vishay P3**
 - Cuatro canales de entrada
 - Lectura directa con pantalla LCD
 - Almacenamiento de datos con tarjeta SD
 - Un cuarto, medio o completo puente de wheatstone
 - Para 120, 350 y 1000 [ohm] strain gages
 - Balanceo automático a cero y calibración
 - Rango 0 a 10000 $[\mu\epsilon]$
 - Resolución 2 $[\mu\epsilon]$



Figura 51: Indicador de deformación de cuatro canales. Permite el uso de un cuarto, medio o completo puente de Wheastone.

Sensores:

Cinta elastométrica

- BF350-6aa (11) T0-F-V-X
- Factor gage 2+-0,1%
- Resistencia 249,8 +- 0,1 ohm
- Grado A

Materialización física de longitudes y ángulos

- Regla metálica 300 [mm]

Herramientas

- Cautín
- Tijeras

Materiales

- Rollo de envase Tetra Pak ®
- Permatex 82565
 - Pegamento en base a cianoacrilato con activador para pegar plásticos como el polietileno (capa exterior Tetra Pak ®).
- Cinta adhesiva
- Marcador punta fina

- Cables eléctricos de diámetro 0.5 [mm]

11.1.1. Procedimiento del ensayo

- Extender el rollo de Tetra Pak ®. Marcar las medidas de la probeta según norma ASTM D5083, procurando que la zona central de la probeta quede libre de pliegues. Esto se debe a que los rollos que vende Tetra Pak ® a las distintas empresas que usan sus envases, vienen pre doblados, para que acá la empresa en Chile pueda plegarlos con mayor facilidad. Estos rollos fueron conseguidos con empresas Lucchetti en la planta de Casa Blanca. A continuación imágenes tanto del rollo como del detalle de los pliegues:



Figura 52: Rollo de Tetra Pak ® antes de la formación de la caja.



Figura 53: Detalle de los pliegues que vienen de la fábrica Tetra Pak ®.

A continuación se procede a cortar para generar la probeta que muestra la siguiente imagen. Notar que en los extremos se pueden observar los pliegues simétricos con respecto a la mitad de la probeta, y en el centro se aprecia que hay una zona libre de pliegues.

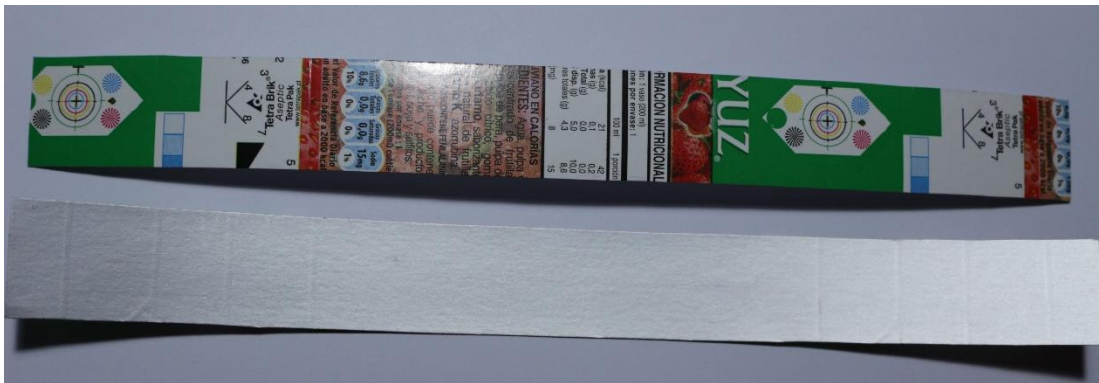


Figura 54: Cara superior e inferior de la probeta utilizada. Se pueden observar los pliegues en los extremos.

- El siguiente paso es marcar el centro de la probeta para pegar el strain gage, cuya dirección es donde se medirán las diferencias de potencial, debido a la deformación del strain gage. Se utiliza pegamento para plásticos Permatex 82565, ya que la superficie de la probeta es polietileno. A pesar de que este pegamento es a base de cianoacrilato, y que en [42] se recomienda implícitamente que este tipo de pegamentos no se adhieren bien al polietileno (componente exterior del envase de Tetra Pak ®), se utiliza un activador que mejora el pegado en este tipo de materiales. Lo primero es limpiar las superficies para asegurar un buen pegado. Después aplicar el activador a ambas superficies que serán pegadas. Dejar secar hasta que se seque el activador completamente (30 segundos). Aplicar el pegamento a una de las superficies y con una cinta adhesiva, pegar el lado que no tiene pegamento. A continuación unir las dos superficies con ayuda de la cinta adhesiva. Finalmente mantener las superficies juntas 30 segundos y dejar curar el pegamento por 24 horas [43]. En la imagen siguiente se observa la probeta y la cinta elastométrica ya pegada:

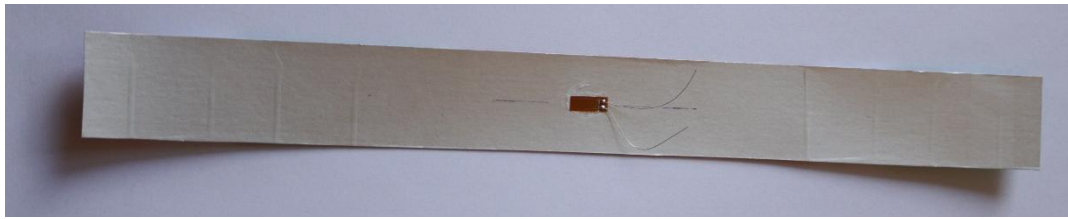


Figura 55: Probeta y strain gage pegados con Permatex 82565.

- Es el turno ahora de realizar la conexión eléctrica del strain gage. Dado que solo se busca encontrar las deformaciones que ocurren en una sola dirección de la probeta, es necesario configurar un cuarto de puente de Wheatstone. Este se ilustra en la siguiente figura:

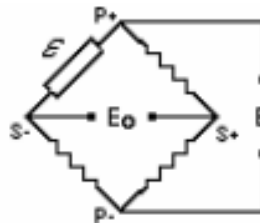


Figura 56: Diagrama eléctrico referente a un cuarto de puente de Wheatstone.

- Como se dijo previamente, se utilizará la máquina de medición de deformaciones Vishay P3, donde se realizan las conexiones para un cuarto de puente de Wheatstone como ilustra la siguiente imagen:

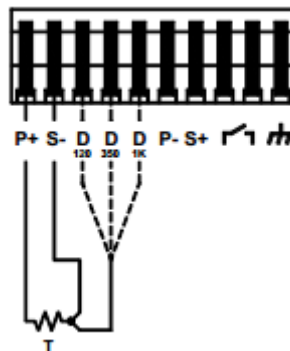


Figura 57: Un cuarto de puente de wheatstone ilustrado para realizar conexiones en instrumento de medición de deformaciones Vishay P3.

- Como se ve en la imagen anterior, del strain gage tienen que salir 3 cables, del primer terminal de la cinta elastomérica se solda un cable y conecta a la conexión $P +$ de la máquina indicadora de deformaciones Vishay P3. Del segundo terminal del Strain gage, se soldan dos cables, uno que se conecta al terminal $S -$ de la máquina y otro al terminal $D350$, ya que se utiliza un strain gage de este valor de resistencia. De esta

forma se finaliza la conexión de un cuarto de puente de Wheatstone. En la imagen siguiente se aprecia la probeta junto con la cinta elastométrica y los cables soldados:

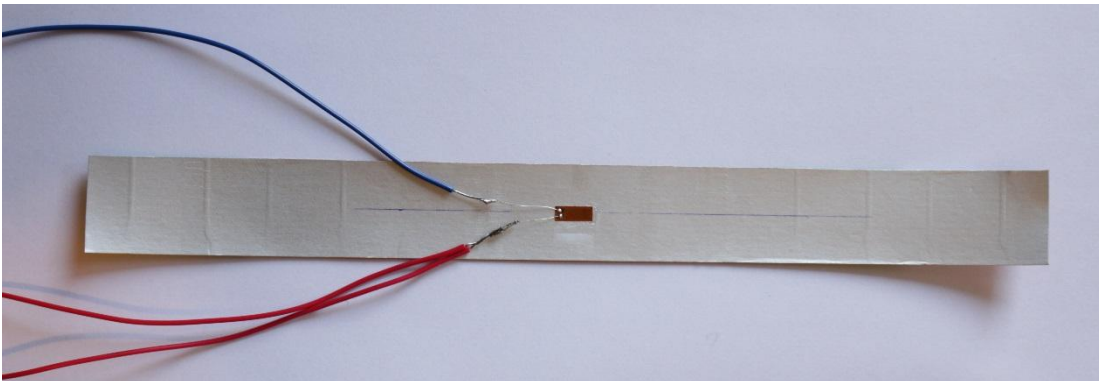


Figura 58: Probeta con strain gage y cables soldados para conectar el cuarto de puente de Wheatstone.

- **Utilización del indicador de deformaciones y registrador Vishay P3**
 - Conectar los cables provenientes del strain gage a la máquina indicadora de deformaciones para medir estas en un cuarto de puente de Wheatstone.
 - Encender instrumento de medición
 - Activar canal donde se realizó la conexión del Strain gage a la máquina indicadora de deformaciones.
 - Seleccionar tipo de puente: Cuarto de puente (QB).
 - Seleccionar Factor del Gage: 2
 - Seleccionar Unidad a medir: $\mu\epsilon$
 - Seleccionar función Balanceo de puente a cero
 - Una vez está lista la probeta y el strain gage pegado a esta, se procede a preparar la máquina de ensayos. El primer paso es instalar las mordazas o mandíbulas planas. Prender el computador e iniciar el software asociado a la máquina de ensayos. Configurar la posición de inicio entre mordazas. Luego manualmente instalar la probeta en las mandíbulas de forma que los topes mecánicos previamente ajustados, permitan el alineamiento en el plano YZ. En el caso del plano XY, se asume que la alineación de las mordazas ya se ha realizado previamente en la máquina.
- **Configurar Software TestXpert II**

Existen distintas categorías para configurar en TestXpert II, las cuales se setearon con los siguientes valores:

- Posición de inicio
 - Longitud de sujeción en posición de inicio (distancia entre mordazas) 63 [mm]
 - Velocidad para tomar la posición de inicio: 100 [mm/min]
- Precarga

- Precarga: 0,7 [N]
- Velocidad de precarga: 2,5 [mm/min]
- Datos de probeta
 - Tipo de probeta para el cálculo de la sujeción: Probeta plana
 - Espesor: 0,46 [mm]
 - Ancho: 25 [mm]
 - Longitud: 50 [mm]
- Ensayo
 - Velocidad módulo-E : control por posición 0.1 [mm/min] (velocidad de ensayo)
 - Fase de ensayos límite de fluencia: Con deformación de fluencia
- Final de ensayo
 - Límite de fuerza superior: 60 [N]
- Resultados
 - E: [MPa]
 - S_0 : [mm] sección inicial
 - L_0 : [mm] longitud inicial
 - F_{el} : [N] límite elástico en deformación no proporcional 0,2[%]
 - σ_{el} : [MPa] fuerza en 0,1[%] deformación plástica 2
 - F_{max} : [N] fuerza máxima
 - σ_{max} : [MPa] fuerza máxima 2
 - F_{rup} : [N] fuerza de rotura 3
 - σ_{rup} : [N] fuerza de rotura 2
 - ε : [%] deformación en rotura
 - Z: [%] estricción
- Modulo-E
 - Modo de determinación del módulo-E: Automático
 - Determinación automática: Buscar zona linear
 - Inicio determinación módulo-E: fuerza estándar 1000 [N]
- Límite de fluencia
 - Final fase de ensayos límite de fluencia: deformación 1 [%]
- Memoria de valores de medición
 - Intervalo de memorización recorrido determinación módulo-E, sensor de recorrido estándar, 1 [μm]
 - Intervalo memorización recorrido determinación del límite de fluencia, sensor de recorrido estándar, 2 [μm]
 - Intervalo memorización recorrido hasta rotura, sensor de recorrido estándar 10 [μm]
 - Intervalo memorización tiempo 20 [ms]

Finalmente se ejecuta el ensayo de tensión en la máquina de materiales Z30. Las mordazas comienzan a traccionar la probeta y se comienzan a registrar las deformaciones de la máquina de forma manual cada 10 [N]. Se descarga la probeta de la máquina y se realiza el desmontaje del sistema.

11.1.2. Ensayo Zwick Roell Z30 (Campus Casa Central)

- Ensayo hasta la rotura

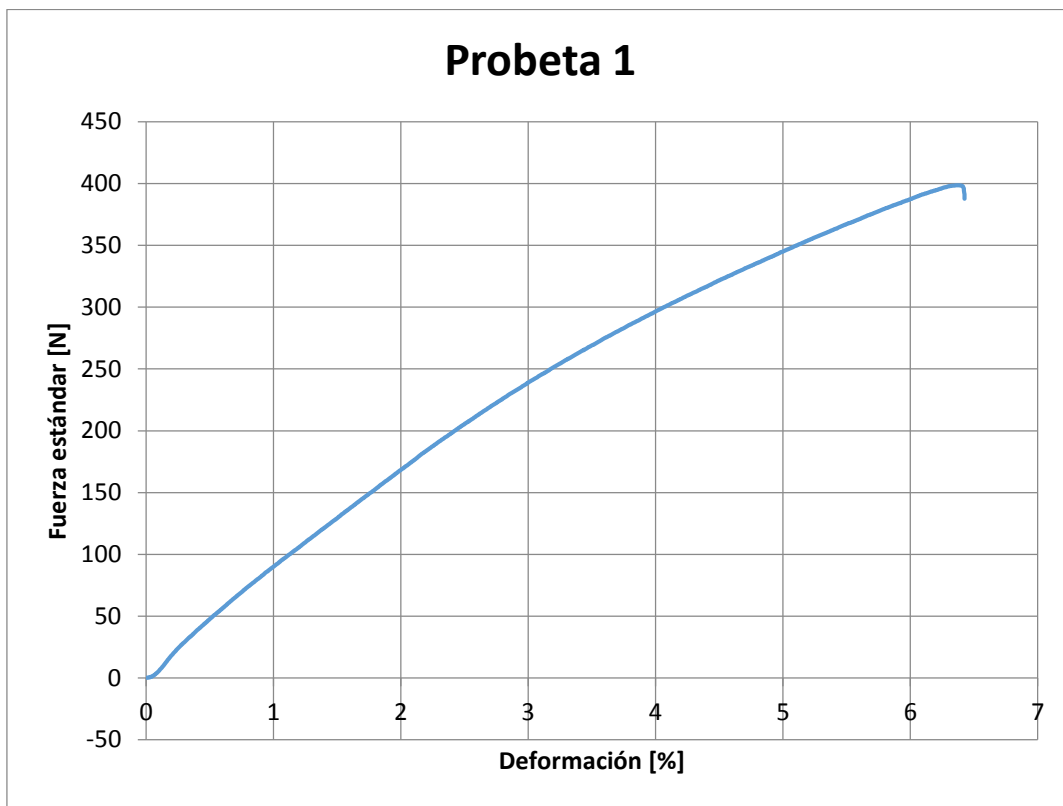


Figura 59: Probeta 1, ensayo hasta la falla.



Figura 60: Probeta 2, ensayo hasta la rotura.

Si se grafican los datos hasta 100 [N] de fuerza ejercida se obtiene la siguiente gráfica:

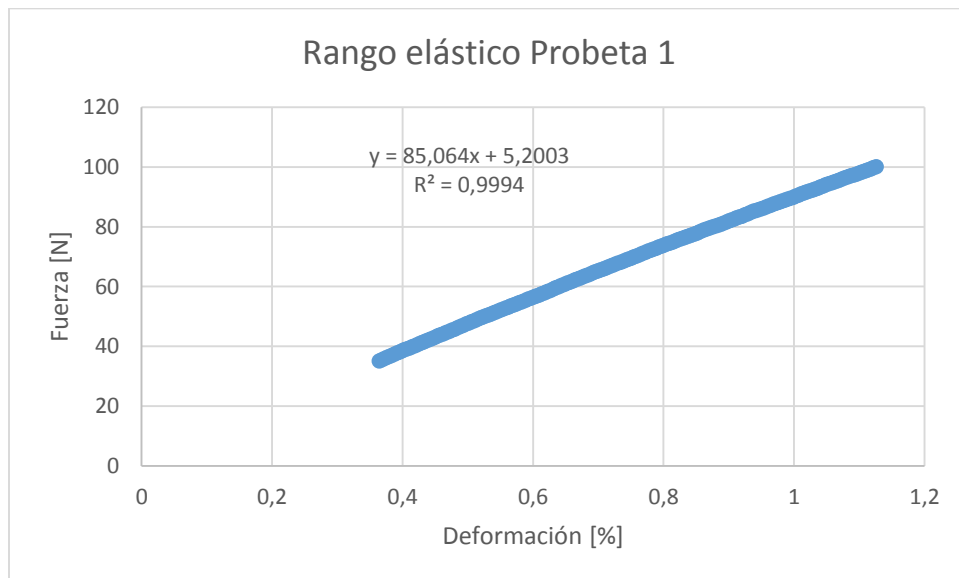


Figura 61: Rango elástico probeta 1.

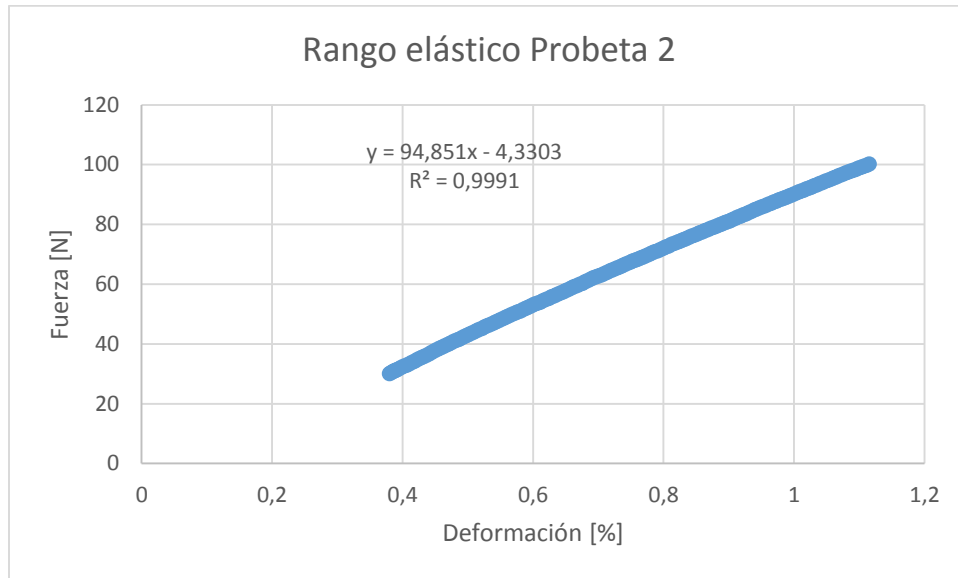


Figura 62: Rango elástico probeta 2.

Finalmente, para un rango de 0 a 100 [N] se obtiene un coeficiente de correlación R^2 cercano a 0,999.

- Ensayo dentro de rango elástico

El rango de este ensayo es el 60 [%] del rango elástico, para asegurar que no se generen deformaciones de tipo plástico. Esta vez se ensayan 5 probetas de iguales características y procedencia idénticas a las ensayadas anteriormente. El rango de fuerza para este ensayo es de 10 a 60 [N].

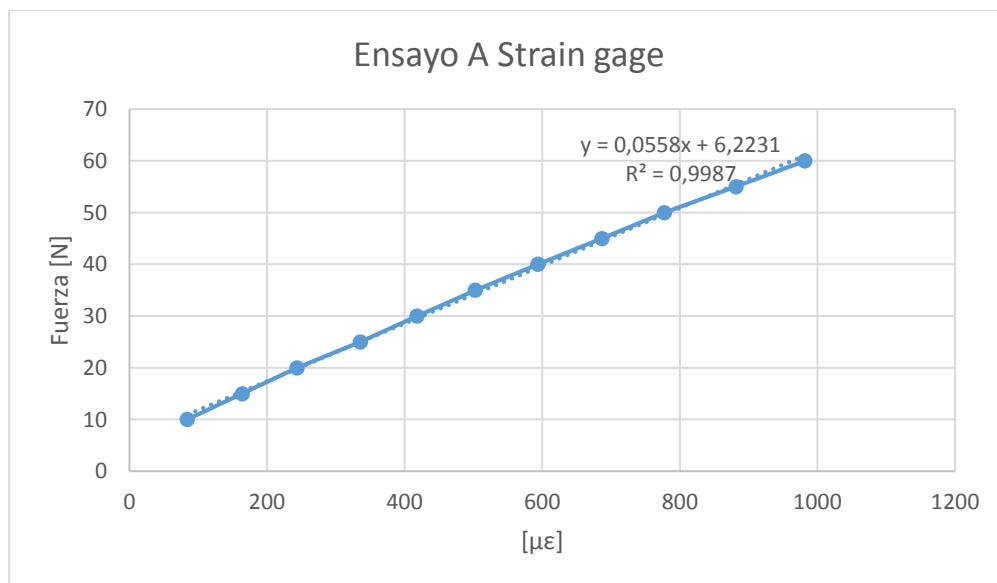


Figura 63: Primer ensayo para la probeta con strain gage en casa central.

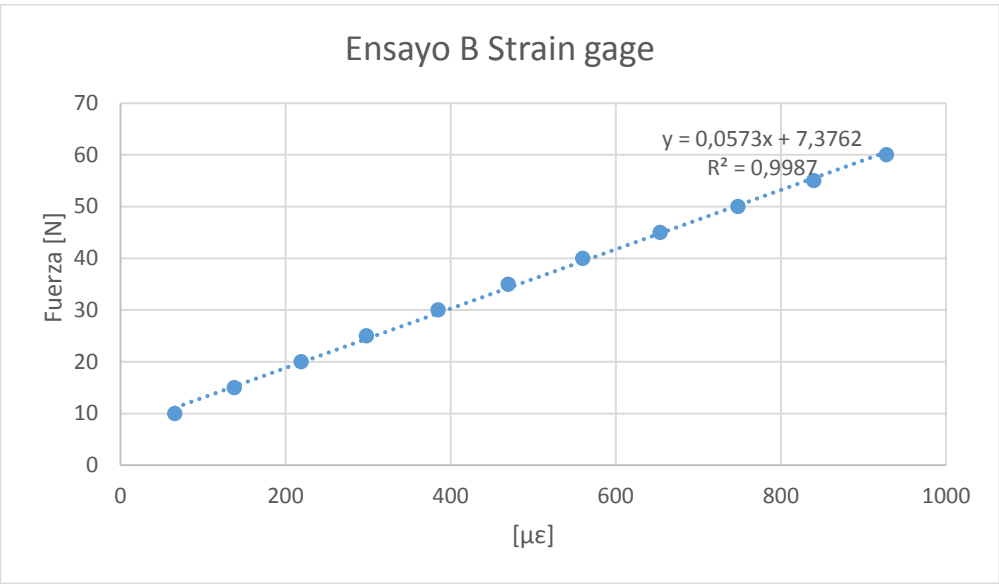


Figura 64: Segundo ensayo para la probeta con strain gage en casa central.

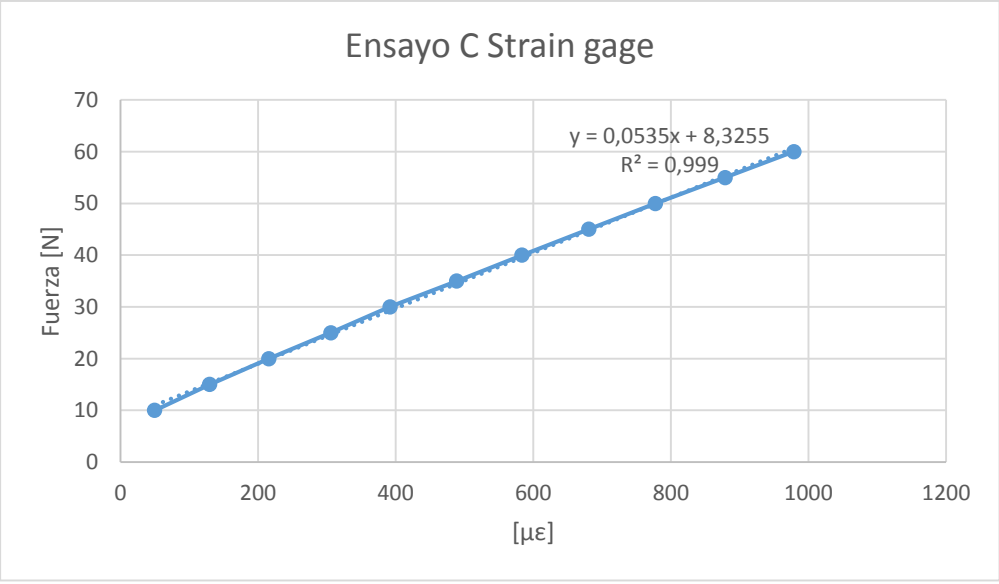


Figura 65: Tercer ensayo para la probeta con strain gage en casa central.

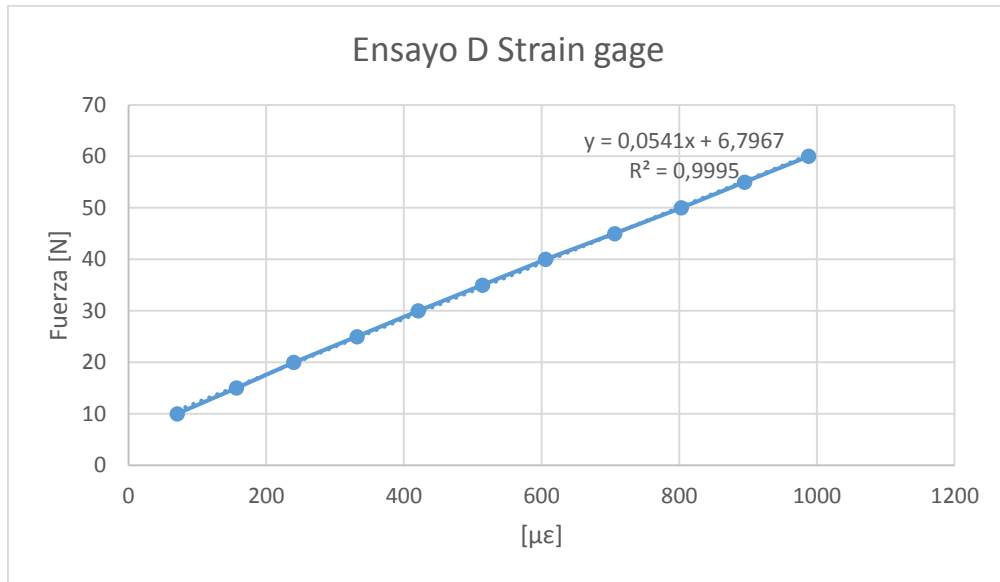


Figura 66: Cuarto ensayo para la probeta con strain gage en casa central.

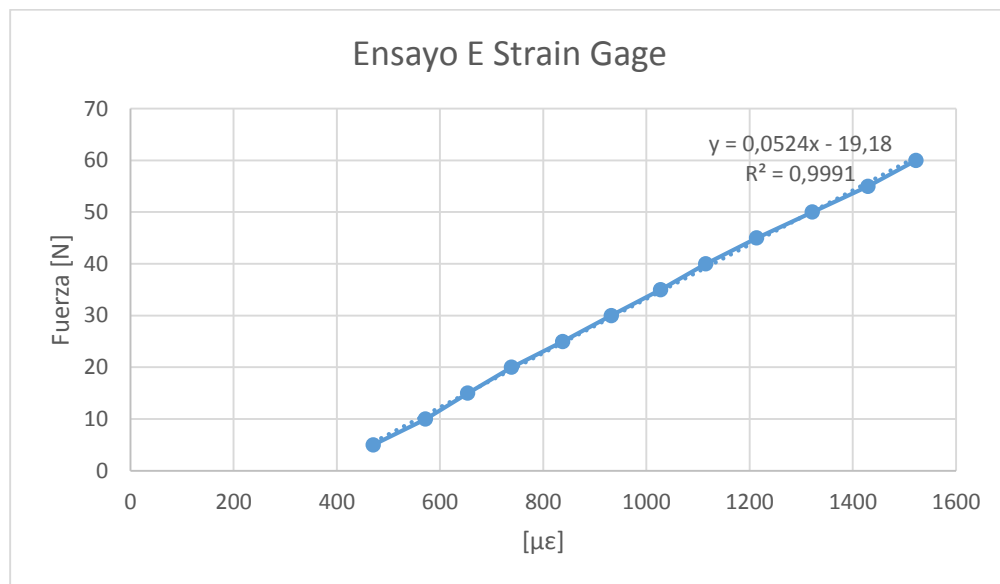


Figura 67: Quinto ensayo para la probeta con strain gage en casa central.

11.2. Respuestas de encuestas

11.2.1. Encuesta a Teca Plak

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

Procesos productivos y productos que empleen reciclaje
ENTREVISTA A CLIENTES, FABRICANTES Y RUBROS
RELACIONADOS

Estimado encuestado(a), usted ha sido invitado a participar de esta entrevista porque sus conocimientos, experiencia y opinión son importantes. Las preguntas tienen como finalidad caracterizar, tanto al proceso productivo, como a los productos generados a partir de reciclaje. Si acepta participar, estará contribuyendo con información fundamental para el trabajo de título de ingeniería civil mecánica. Sus datos personales y respuestas no serán revelados en los informes y puede, en cualquier momento de la entrevista, dejar de responder si lo desea. Esta entrevista consta de dieciocho preguntas, las cuales tardarán aproximadamente 15 minutos en ser respondidas. Agradecemos su tiempo y experiencia.

Nombre del encuestado(a): Jaime Elgueta	
Agrupación o Empresa a la que pertenece: Teca Plak	
Cargo que desempeña: Gerente de Operaciones	Seleccione el rubro al que se dedica: <input type="checkbox"/> Albañilería <input type="checkbox"/> Arquitectura <input type="checkbox"/> Construcción con materiales reciclados <input type="checkbox"/> Ingeniería en construcción <input type="checkbox"/> Otro: _____
Fecha de encuesta: 29/07/2015	
Firma del(la) encuestado(a): _____	

PREGUNTAS RESPECTO AL PRODUCTO

 > ¿Qué productos genera su empresa?
Placas que provienen del reciclaje de Tetra Pak

 > ¿Qué materias primas utilizan?
Tetra Pak, no existe ninguna resina, ni componente químico.

 > ¿Qué desperdicios generan?
Ninguno, todos los desperdicios cuando se dimensionan las planchas se vuelven a reciclar. Se pican nuevamente en la picadora y eso vuelve a ingresar en la siguiente placa.



¿Qué características o propiedades tienen sus productos?

Es un listado grande de características las que uno ve en las placas que hay en el mercado. Pero en general es un producto si lo asemejamos al OSB, a pesar de que insisto, no es una comparación correcta ni justa. Nuestro producto tiene otro objetivo, pero cumple sin problemas las del OSB. Ahora, estas placas de Tetra Pak no son un elemento estructural, sino que es un elemento de separación de interiores, de diseño, etc. Para ocuparlo estructuralmente no es el adecuado. Dado que los componentes son cartón, plástico y aluminio, bueno el aluminio es incombustible, el plástico es lento en su ignición y el cartón por el porcentaje que trae se demora en prender. Por lo tanto, toma tiempo en que se queme y además es muy lenta la combustión. Entonces, si hubiera un problema de fuego, el material avisaría con suficiente tiempo de antelación.



¿Cuál materia prima es más costosa económicamente?

El comprar la caja es un costo relativamente bajo. En realidad hay muy pocas cosas gratis en este mundo y el material que traen para acá se vende. Ahora bien no es un componente incidente en el costo final de la producción de la planta. Los costos principales son la mano de obra y la electricidad, esos son los que pesan.



¿Tienen competidores en el mercado?

Hay algunas empresas que hacen esto, pero el producto final es distinto. No pican el material, hacen paneles con la caja completa de tetra pak. La prensan, la unen y le hechan plástico. Me imagino que un pegamento, no conozco muy bien el proceso. Pero de la placa propiamente tal, la típica que nosotros hacemos, yo diría que somos los únicos por el momento.

PREGUNTAS RESPECTO AL PROCESO PRODUCTIVO



¿Cuáles son las máquinas principales que constituyen la cadena productiva?

Picadoras, mezcladoras y prensa.



¿Qué máquinas son críticas en el ciclo productivo?

Evidentemente, cualquiera que falle, para el circuito, acá no hay ninguna alternativa. Si falla la picadora, no tenemos material para meter a la prensa. Si falla la mezcladora, no tenemos máquina para homogenizar el material. Por lo tanto, todas están en el camino crítico.



¿Cuál es la tasa de producción de cada máquina?

Evidentemente, cualquiera de las máquinas, la optimización está en que se use el 100% del tiempo. Ahora, probablemente la prensa es la que se respeta más su uso, porque es

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

la que consume más energía. Por lo tanto, si uno se programa y va a picar material, por ejemplo la prensa no se toca. Una vez que se echa a andar la prensa, es cuando se produce.



¿Cuál es el grado de dificultad en la operación de las máquinas?

Esto es una curva de aprendizaje, ahora las máquinas se operan con los ojos cerrados. Pero fue una curva de aprendizaje de ocho meses, en el cual se tuvo que ver bien como operar las máquinas, las capacidades. Todos fuimos aprendiendo, esto acá en Chile no se había hecho, fue una curva de aprendizaje muchas veces a aciertos y errores, así de simple.



¿Cuál es la máquina más costosa?

La prensa. Es una máquina que se mandó a hacer para producir este material, no se vende en el mercado para procesar tetra pak. Por lo tanto hubo que mandar a hacerla para que tanto las características de temperatura y presión fueran las que nosotros necesitamos para generar el producto.



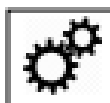
¿Cuántas personas operan las máquinas de producción?

Es estacionario, si uno está funcionando al 100%, deberían ser unas seis personas. Si uno está produciendo en un periodo más tranquilo, cuatro personas.



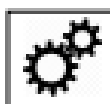
¿Trabajan con otras empresas asociadas?

Para hacer este material no requerimos de ninguna empresa asociada. Si se quisiese hacer muebles, por ejemplo, intuitivamente uno se debería asociar con una empresa de gráfica, que haga muebles, cosas de publicidad. Pero en principio, para hacer la placa y solo la placa, no es necesario estar asociado, ni estamos asociados con nadie.



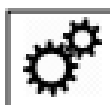
¿Cuántos mantenimientos se realizan al año?

Se hace un chequeo mensual, sus mantenciones preventivas, con eso nos ahorramos hacer una mantención cara una vez al año. La persona que está a cargo de la máquina tiene que estar preocupada de su máquina. Y con eso uno se evita muchos dolores de cabeza.



¿Actualmente existe algún problema que usted quiera solucionar dentro del proceso productivo?

No, solamente en la medida que se pretenda crecer, ir aumentando la cantidad de máquinas, ahí está el secreto, la optimización. Actualmente uno hoy en día podría tender a automatizar muchas cosas, aplicar tecnología en desmedro de la mano de obra. Pero por el momento no es necesario. Una vez que la empresa agarre vuelo, va a haber que pulir muchas cosas



¿Qué aptitudes deben tener los operarios para operar las máquinas? ¿Cuáles son las menos relevantes?

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

Dedicación, cuidado y deseos de aprender, con eso basta. La picadora es la menos relevante.



¿Hay alguna etapa del proceso que aumente los tiempos de producción (cuellos de botella)? ¿Cómo cree que se podrían solucionar?

Los equipos se montaron de tal manera que no haya cuellos de botella.



¿Cuáles son los riesgos que se generan al operar las máquinas? ¿Dónde se concentran estos riesgos?

Quemazón "suave". Se concentran los riesgos en la prensa.

Agradecemos su tiempo y conocimientos al responder estas preguntas.

11.2.2. Encuesta a especialistas

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortíz Martínez

Ladrillos de Arcilla y Albañilería ENTREVISTA A CLIENTES, FABRICANTES Y RUBROS RELACIONADOS

Estimado encuestado(a), usted ha sido invitado a participar de esta entrevista porque sus conocimientos, experiencia y opinión son importantes. Las preguntas tienen como finalidad caracterizar, tanto al ladrillo convencional de arcilla, como al proceso de albañilería. Si acepta participar, estará contribuyendo con información fundamental para el trabajo de título de ingeniería civil mecánica. Sus datos personales y respuestas no serán revelados en los informes y puede, en cualquier momento de la entrevista, dejar de responder si lo desea. Esta entrevista consta de trece preguntas, las cuales tardarán aproximadamente 10 minutos en ser respondidas. Agradecemos su tiempo y experiencia.

Nombre del encuestado(a):

Wladimir Morales

Agrupación o Empresa a la que pertenece:

3CL

Cargo que desempeña:

MH Maestro Albañil

Fecha de encuesta:

27/07/2016

Firma del(a) encuestado(a):

Selecione el rubro al que se dedica:

- Albañilería
- Arquitectura
- Construcción con materiales reciclados
- Ingeniería en construcción
- Otro: _____

PREGUNTA 8 RESPECTO AL USO



¿Cuándo usted usa ladrillos?

Quando quiero que la estructura soporte mucho peso. Cosas que resistan como para obra gruesa. (Él lo usaba para generar una cámara a nivel bajo tierra, que soporte una tapa de metal tipo alcantarilla.)



¿Qué ventajas brinda el trabajar con ladrillos?

Económico, a diferencia de los bloques de hormigón. Las personas prefieren pagar menos en comparación a un ladrillo princesa, porque después lo estucan y queda bien.



> ¿Qué desventajas otorga el trabajar con ladrillos?
Ninguna. "¿y las manos? No hay problema, uso guantes."



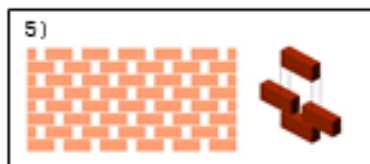
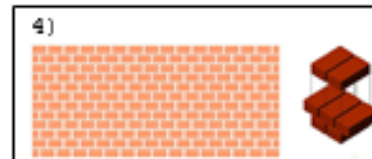
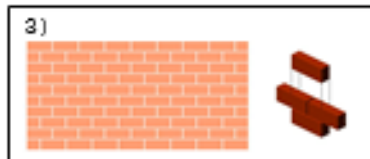
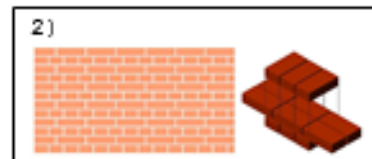
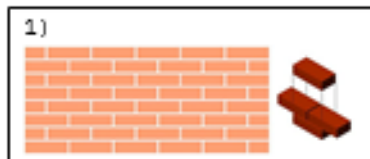
> ¿Qué herramientas y máquinas necesita para trabajar con ladrillos?
Una plana, martillo o combo para partir el ladrillo donde necesite espacios pequeños.



> ¿Qué otros materiales complementarios utiliza?
Cemento y arena. Martelina si quiero estucar una fachada



> ¿Cuáles disposiciones de ladrillos que usted más utiliza?
1,3,5. La 2 y 4 se usan más para casas coloniales como decoración.



PREGUNTAS RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO



> ¿Qué características son fundamentales en un ladrillo?
Las dimensiones, que sea de primera (un ladrillo con sus caras en buen estado y no trizadas). (él) usaba ladrillos de cuarta para ese trabajo, ya que su finalidad no era lo estético). Que sea rugoso para que el cemento pegue. Se puede usar un puente adherente que es como un pegamento entre superficies donde no pega directamente el cemento.



> ¿Qué características no son tan importantes en un ladrillo?
La calidad no siempre es importante, depende de para que se quiera



> ¿Qué tipos de ladrillo son los que más le acomoda para trabajar?
Princesa, por lo bonito del acabado. Queda terminado al tiro.



> ¿En que se fija usted al comprar un ladrillo?
Para que se quiere, después me fijo en el presupuesto



> Si usted tuviera que realizar una construcción ligera, ¿Consideraría utilizar ladrillos?
No, la mezcla pesa demasiado.



> Si en la pregunta anterior respondió "No", ¿Qué elementos utilizaría en su reemplazo?
Usaría para una construcción ecológica fardos de paja con barro. Aísla del calor y el frío. O sino usaría Intermat, ya que dura más que el OSB y lo puedo estucar y queda con buen acabado.



> Si usted tuviera que diseñar un ladrillo, ¿Qué característica nueva agregaría en su "Ladrillo Ideal"?
Que se pudieran ensamblar
Que fueran grandes, por ejemplo de 1[m]x50[cm]. Aumentaría la rapidez de la construcción.

Agradecemos su tiempo y conocimientos al responder estas preguntas.

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

Ladrillos de Arcilla y Albañilería ENTREVISTA A CLIENTES, FABRICANTES Y RUBROS RELACIONADOS

Estimado encuestado(a), usted ha sido invitado a participar de esta entrevista porque sus conocimientos, experiencia y opinión son importantes. Las preguntas tienen como finalidad caracterizar, tanto al ladrillo convencional de arcilla, como al proceso de albañilería. Si acepta participar, estará contribuyendo con información fundamental para el trabajo de título de ingeniería civil mecánica. Sus datos personales y respuestas no serán revelados en los informes y puede, en cualquier momento de la entrevista, dejar de responder si lo desea. Esta entrevista consta de trece preguntas, las cuales tardarán aproximadamente 10 minutos en ser respondidas. Agradecemos su tiempo y experiencia.

Nombre del encuestado(a):
Jorge Mascaró Inguerzon


Agrupación o Empresa a la que pertenece:
Servicios de Arquitectura

Cargo que desempeña:
Socio

--

Fecha de encuesta:
03/08/15

Seleccione el rubro al que se dedica:
<input type="checkbox"/> Albañilería
<input type="checkbox"/> Arquitectura
<input type="checkbox"/> Construcción con materiales reciclados
<input type="checkbox"/> Ingeniería en construcción
<input type="checkbox"/> Otro: Arquitectura y Construcción _____

Firma del(la) encuestado(a):


PREGUNTAS RESPECTO AL USO



> ¿Cuándo usted usa ladrillos?
Cuando lo indica el calculista, en estructuras no soportantes, tabiques, en conjunto con estructuras de hormigón armado, etc.



> ¿Qué ventajas brinda el trabajar con ladrillos?
Es rápido de colocar y en algunos casos que no necesita otra terminación, como por ejemplo el ladrillo tipo princesa.

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

- > ¿Qué desventajas otorga el trabajar con ladrillos?
- > Que es un trabajo sucio.



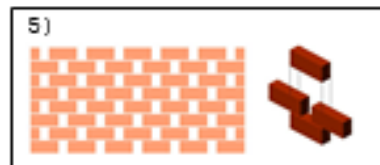
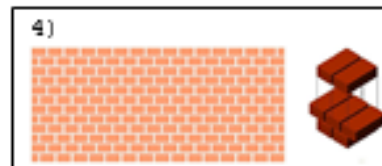
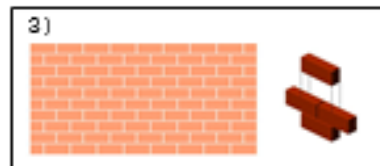
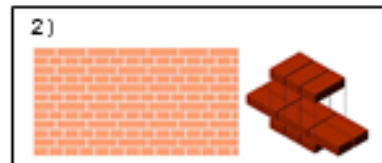
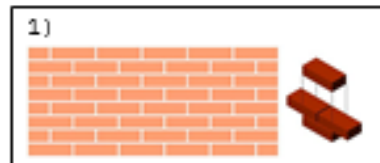
- > ¿Qué herramientas y máquinas necesita para trabajar con ladrillos?
Betonera, carretilla, llana, plana, batea mezcladora, baldes, lienza, etc.










- > ¿Qué otros materiales complementarios utiliza?
Aditivos para el agua.



- > ¿Cuáles disposiciones de ladrillos que usted más utiliza?
1



PREGUNTAS RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO

-  > ¿Qué características son fundamentales en un ladrillo?
El tamaño, que sean todos iguales.
-  > ¿Qué características no son tan importantes en un ladrillo?
El color
-  > ¿Qué tipos de ladrillo son los que más le acomoda para trabajar?
El ladrillo fiscal.
-  > ¿En que se fija usted al comprar un ladrillo?
En que vengan todos enteros y no partidos.
-  > Si usted tuviera que realizar una construcción ligera, ¿Consideraría utilizar ladrillos?
Solo en las zonas húmedas.
-  > Si en la pregunta anterior respondió "No", ¿Qué elementos utilizaría en su reemplazo?
Para reemplazar el ladrillo hoy existe, por ejemplo, los tabiques de Metalcon
-  > Si usted tuviera que diseñar un ladrillo, ¿Qué característica nueva agregaría en su "Ladrillo Ideal"?
Otros tamaños, soluciones para las esquinas, cuando es a la vista y otros colores.

Agradecemos su tiempo y conocimientos al responder estas preguntas.

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

Ladrillos de Arcilla y Albañilería ENTREVISTA A CLIENTES, FABRICANTES Y RUBROS RELACIONADOS


Estimado encuestado(a), usted ha sido invitado a participar de esta entrevista porque sus conocimientos, experiencia y opinión son importantes. Las preguntas tienen como finalidad caracterizar, tanto al ladrillo convencional de arcilla, como al proceso de albañilería. Si acepta participar, estará contribuyendo con información fundamental para el trabajo de título de Ingeniería civil mecánica. Sus datos personales y respuestas no serán revelados en los informes y puede, en cualquier momento de la entrevista, dejar de responder si lo desea. Esta entrevista consta de trece preguntas, las cuales tardarán aproximadamente 10 minutos en ser respondidas. Agradecemos su tiempo y experiencia.

Nombre del encuestado(a):
Nicolás Riveros Montecino

Agrupación o Empresa a la que pertenece:
Möller y Pérez Cotapo S.A.

Cargo que desempeña:
Arquitecto - Coordinador de Especialidades y Programador de Obra

Fecha de encuesta:
28 de Julio de 2015

Firma del(la) encuestado(a):


Seleccione el rubro al que se dedica:
<input type="checkbox"/> Albañilería
<input checked="" type="checkbox"/> Arquitectura
<input type="checkbox"/> Construcción con materiales reciclados
<input checked="" type="checkbox"/> Ingeniería en construcción
<input type="checkbox"/> Otro: _____

PREGUNTAS RESPECTO AL USO



¿Cuándo usted usa ladrillos?
En construcción de casas en primer piso, construcción de cámaras de inspección sanitaria, revestimiento.



¿Qué ventajas brinda el trabajar con ladrillos?
Costo, resistencia al fuego, y velocidad de trabajo en proyectos de baja escala.



¿Qué desventajas otorga el trabajar con ladrillos?
Desplazamiento y acopio de material, preparación para incorporar instalaciones

Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez



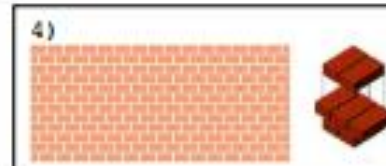
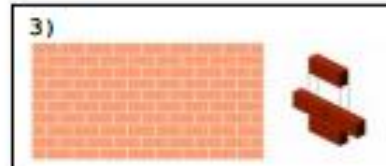
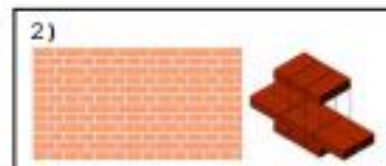
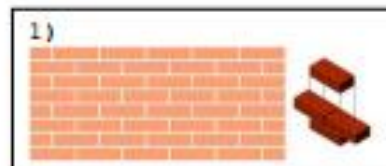
> ¿Qué herramientas y máquinas necesita para trabajar con ladrillos?
Esmeril con disco de corte concreto



> ¿Qué otros materiales complementarios utiliza?
Mortero



> ¿Cuáles disposiciones de ladrillos que usted más utiliza?
Aparejo a Soga



Universidad Técnica Federico Santa María
Trabajo de título: "Diseño conceptual de máquina generadora de bloques o ladrillos para construcción en base al reciclaje de Tetra Pak"
Sebastián Ortiz Martínez

PREGUNTAS RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO



> ¿Qué características son fundamentales en un ladrillo?
Resistencia, regularidad de geometría.



> ¿Qué características no son tan importantes en un ladrillo?
Cuando va revestido, el color y la terminación de las caras no tan importante.



> ¿Qué tipos de ladrillo son los que más le acomoda para trabajar?
Depende del proyecto, pero serían ladrillos prensados tipo "Titán Reforzado".



> ¿En que se fija usted al comprar un ladrillo?
Dimensión, Geometría, Peso, Color, y Precio.



> Si usted tuviera que realizar una construcción ligera, ¿Consideraría utilizar ladrillos?
No..



> Si en la pregunta anterior respondió "No", ¿Qué elementos utilizaría en su reemplazo?
Panelería (Tabiques en madera).



> Si usted tuviera que diseñar un ladrillo, ¿Qué característica nueva agregaría en su "Ladrillo Ideal"?
Modificación de geometría, y mejorar sistema para instalaciones.

Agradecemos su tiempo y conocimientos al responder estas preguntas.

11.3. Descripción y propiedades de los insumos

11.3.1. Polímero (resina)

Los polímeros pueden clasificarse en biológicos y sintéticos. Los primeros, son parte de todas las cosas que viven en la tierra, mientras que los segundos son utilizados como materia prima de muchas formas. Según el libro “Fundamentos de manufactura moderna” [44] los polímeros son “compuestos que consisten en moléculas de cadena larga (...). La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y por eso se les considera productos orgánicos”. Según el mismo autor, estos compuestos se dividen en polímeros termos fijos, polímeros termoplásticos y Elastómeros (cauchos), los cuales se describen a continuación:

- Termoplásticos (TP)
Son compuestos de carácter sólido a temperatura ambiente, pero al aumentar su temperatura cambian su estado a líquidos viscosos. Esta cualidad permite que de forma económica cambien de forma.
- Termos fijos o Termo estables (TS)
Son compuestos que, al aumentar la temperatura del polímero por primera vez, cambian su forma, pero no permiten más ciclos de calentamiento. Importante mencionar que, si aumenta la temperatura considerablemente, se pueden producir daños en el polímero y terminar degradándose.
- Elastómeros o Cauchos:
Son polímeros que, al ser sujetos y generados esfuerzos, su estructura se alarga. Y al detenerse la carga, se restaura su forma original.

11.3.2. Tipos de entrecruzamiento de polímeros y sus propiedades

Existen polímeros lineales, ramificados y entrecruzados. Los lineales son aquellos que forman cadenas largas sin ramificaciones. Los ramificados tienen forma de cadena larga, pero con ramificaciones. Finalmente, los polímeros entrecruzados, son cadenas ramificadas o lineales que se unen transversalmente generalmente por enlaces covalentes. Este entrecruzamiento se realiza al ser llevado a elevadas temperaturas, lo que además genera que sea de tipo irreversible. Los polímeros elastómeros y termofijos tienen este último tipo de entrecruzamiento, con la diferencia que el elastómero genera entrecruzamiento menos denso en comparación al termofijo.

Respecto a las características mecánicas de cada entrecruzamiento, las moléculas lineales son más densas (varias moléculas lineales juntas) en comparación a los otros tipos. También las moléculas lineales tienen mayor resistencia a la tracción, rigidez y altas temperaturas para la fusión del polímero si está ya en estado sólido. Por otro lado, las

moléculas ramificadas tienen más espacios entre ellos (baja densidad comparativa), más flexibles y permeables para gases. En vista a lo anterior, los termofijos tienen un alto grado de entrecruzamiento, así como los elastómeros un grado menor. Es por esto que los termofijos tienen una dureza mayor y mayor fragilidad, y así mismo los elastómeros son más elásticos. El alto grado de entrecruzamiento provoca que los polímeros sean químicamente irreversibles, y si se aplica temperatura estando ya el entrecruzamiento establecido, el polímero se degrada, pero no cambia a estado líquido nuevamente. Los termoplásticos están compuestos por cadenas lineales, es por eso que, al estar en estado sólido y aplicarse calor, las cadenas se deslizan y se funden.

El punto donde los termoplásticos se funden, se llama temperatura de fusión. Mientras que el punto donde los termoestables se solidifican, se llama temperatura de transición vítrea.

Hay dos factores importantes que confirman que el tipo de polímero a utilizar será el de tipo termoestable. El primero es que tiene mejores propiedades mecánicas (resistir más cargas) en comparación al termoplástico. Y, en segundo lugar, si se escogiera realizar un bloque en base a termoplásticos, al estar este expuesto al calor del sol, podría tender a derretirse, lo que atenta contra las especificaciones y objetivos técnicos de diseño.

Los polímeros termofijos según su composición se subdividen en [45]:

- Alquidos:

Poseen buenas propiedades de aislamiento eléctrico, resistencia al impacto, estabilidad dimensional y baja absorción de agua. Se aplican a elementos eléctricos y electrónicos.

- Aminos:

En general son duros, rígidos y resistentes a la abrasión, a la termofluencia y al arco eléctrico. Se aplican a cajas de electrodomésticos pequeños, contratapas, asientos para sanitarios, manijas, tapas de distribuidores.

- Epóxicos:

Excelentes propiedades mecánicas y eléctricas, buena estabilidad dimensional, fuertes propiedades adhesivas y buena resistencia al calor y químicos. Se aplican en componentes eléctricos que requieren resistencia mecánica y aislamiento elevado. También se mezclan con otros elementos para generar materiales compuestos como: recipientes de presión, carcasas de autos y tanques, y componentes estructurales.

- Fenoles:

Son frágiles y dimensionalmente estables, y tienen alta resistencia al calor, agua, electricidad y productos químicos. Se aplican en manijas, tableros laminados, teléfonos, cables y componentes eléctricos.

- **Poliésteres:**

Tienen buenas propiedades mecánicas, físicas y eléctricas a temperaturas altas. Se utilizan con fibra de vidrio y también como resinas para fundición. Casi siempre se aplican a telas para generar un material compuesto.

- **Poliamidas:**

Tienen buenas propiedades mecánicas, eléctricas y físicas, así como también buena resistencia a la termofluencia y bajo desgaste a la fricción. Tienen las características de los termofijos, pero se comportan estructuralmente como un termoplástico, y es por eso que se usan para generar estructuras que necesitan más resistencia al impacto.

- **Siliconas:**

Sus propiedades dependen de la composición. Tienen muchos usos, ya que responden bien a la influencia de efectos del ambiente. Por lo anterior es que se usan como sellantes, juntas o elementos que se ven afectados de altas temperaturas.

Como se puede observar en las descripciones anteriores, el tipo de resina termofija con mejores propiedades mecánicas es la del tipo Epoxi, la cual es ideal para generar este tipo de material compuesto. Según un documento de la universidad de Washington [46], se utilizan polímeros termo estables para desarrollar materiales compuestos ya que estos tienen tres ventajas fundamentales: Baja viscosidad en comparación a otros polímeros ayudando que fluya mejor este a través de los refuerzos, el entrecruzamiento genera altas prestaciones mecánicas, y finalmente, la posibilidad de curar a temperatura ambiente.

11.3.3. Pigmentos y restricciones químicas

Los pigmentos tienen la finalidad de cambiar el color de la resina. Estos no se adhieren a un sustrato, sino a través de un polímero que se adhiere a este. En el caso de pigmentos para resinas, deben mezclarse directamente con la resina y en una proporción de 3[%] del volumen de la mezcla en pigmento.

Además, el tipo de pigmento queda restringido a dos especificaciones de diseño. Primero el de no superar el contenido de plomo de 0,009[%] o 90[ppm] de peso, el cual queda está especificado por la GPO (Government printing office) de estados unidos. Esta norma entrega, entre otras cosas, las directrices de la cantidad de plomo en juguetes para niños [47].

En el caso de la resina, al igual que el pigmento, podría contener plomo, pero la afirmación anterior se descarta en el datasheet de una resina Epoxi M43 [48].

Para los pigmentos que se utilizan en resinas, se confirma en una web relacionada con la venta de insumos para moldeo, Feroqa, que los pigmentos para resinas no contienen Plomo [49].

Por otro lado, debe satisfacer una directriz del mercado de los juguetes, la cual tiene que ver con las sustancias CMR (carcinógenas, mutágenas o tóxicas para la reproducción). En el caso de España, el 28 de julio del 2015, se modificó el Real Decreto 1205/2011 sobre seguridad en los juguetes [50]. Esta modificación hace referencia en general a cambiar los

límites admisibles de sustancias CMR en juguetes. Por ejemplo, en el caso del Níquel, se clasifica como sustancia CMR categoría 2, lo que implica que se puede usar solo en juguetes fabricados con acero inoxidable, así como también en componentes destinados a conducir corriente eléctrica.

Existen muchos ejemplos de sustancias CMR, pero hay dos insumos que podrían contener este tipo de sustancias, la resina Epoxi o el colorante/pigmento.

En el caso de la resina Epoxi según la ficha de datos de seguridad de la empresa Icribérica, la resina R47 epoxy, contiene 0[%] de sustancias volátiles CMR [51].

En el caso del pigmento, no se verifican sustancias CMR, solo como se expuso previamente, la norma restringe el plomo en pigmentos.

11.3.4. Tetra Pak ®

Las características generales del material se han especificado en secciones pasadas. Lo que falta definir es el grado de trituración que debe tener el envase. Existen personas que han utilizado el triturado de Tetra Pak ® para diversos usos. Por lo tanto, para tener una mejor referencia, se genera un resumen a continuación:

Tabla 53: Tamaño de particulado del Tetra Pak. ®

Aplicación	Longitud de la partícula	Fuente
Triturado de Tetra Pak ® en mezcla caliente de asfalto	1-6 [mm]	[52]
Fungicide and insecticide properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay	5 [mm]	[53]
Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik)	1-3 [mm]	[54]
Estudio de pre-factibilidad técnica para la fabricación de materiales aprovechables a partir de residuos de Tetra Pak ® del Cantón de Oreamuno	1-5[mm]	[55]
Physical and mechanical properties of cardboard	5[mm]	[14]

panels made from used beverage carton with veneer overlay		
---	--	--

11.4. Procesos de conformado con matriz polimérica

11.4.1. Moldeo por inyección

Según el libro “Fundamentos de manufactura moderna” [44], este proceso consiste en calentar un polímero hasta que alcanza un estado líquido que le permite fluir a alta presión a una cavidad o molde, donde se solidifica y posteriormente es extraída. El ciclo productivo alcanza como máximo el minuto, lo que lo convierte en un proceso relativamente rápido. Este proceso puede generar piezas con complejas formas, lo cual depende únicamente de la calidad y diseño del molde. Se pueden generar piezas variados pesos, desde pequeñas piezas de plástico hasta puertas pesadas de refrigerador. Debido a la complejidad del molde, esta se convierte en la pieza principal y unas de las más costosas.

- Equipos

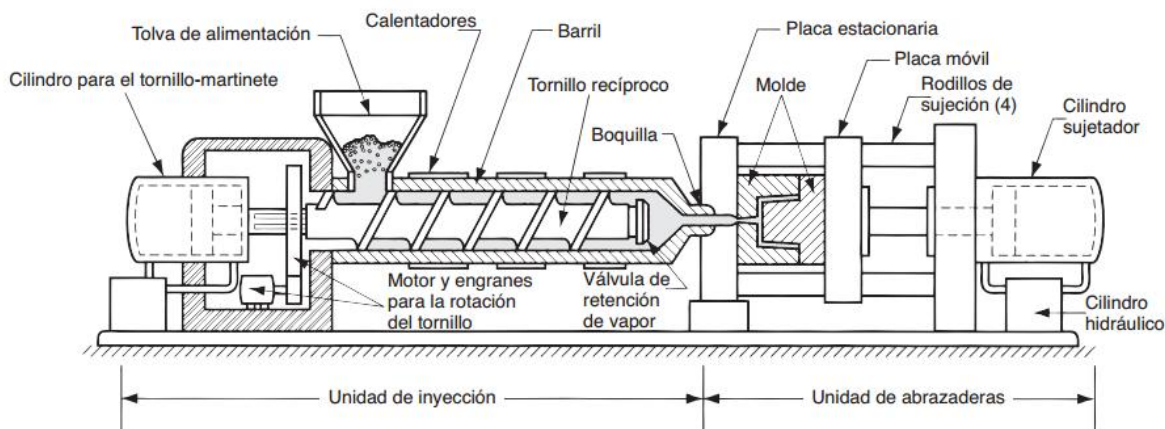


Figura 68: Sistema de moldeo por inyección para polímeros. A la izquierda el sistema de inyección, y a la derecha se observa el sistema de sujeción del molde.

A la izquierda de la ilustración se observa el sistema de inyección que consta, entre otras cosas, de una máquina similar a un extrusor. Se suministran pellets de plástico a un barril que en su interior tiene un tornillo recíprocante. La diferencia con la extrusora es que este contiene un cilindro para el tornillo, que lo desplaza axialmente, generando el llenado del molde. Los pellets no solo se desplazan por el barril, sino que también se funden gracias a calentadores. Por otro lado, en el lado derecho de la ilustración, se observa el sistema de sujeción del molde, cuyas funciones son: unir ambas partes del molde, resistir la presión de inyección, y finalmente abrirse para extraer la pieza formada.

Otro punto importante es el molde, el cual es una de las piezas fundamentales en este proceso. Sus funciones son contener al fluido, transferir calor al exterior o interior, tener un sistema eyector de pieza y ser capaz de resistir las exigencias del proceso.

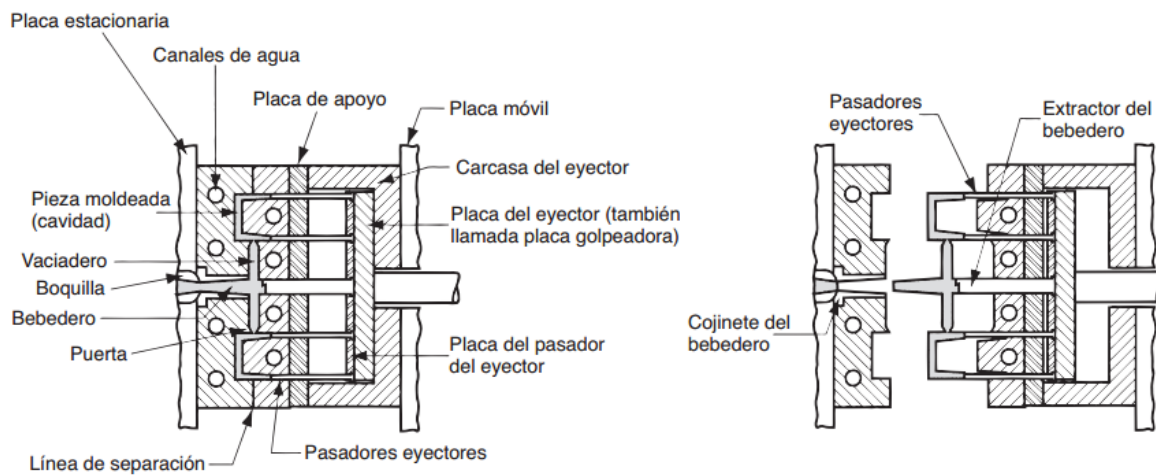


Figura 69: Molde de un sistema de moldeo por inyección. A la izquierda se observa un molde cerrado, mientras que a la derecha un molde abierto.

Como se puede ver en la imagen, los moldes están compuestos por dos partes (o más), que conforman una cavidad para contener el fluido. Esta pieza fundamental también tiene conductos relevantes como el canal de inyección o bebedero, que es por cual entra el fluido caliente, y el vaciadero, que transporta el fluido del bebedero a la cavidad. Por otra parte, cruzan el molde canales de agua, que se encargan de bajar la temperatura de este para la solidificación del fluido. Cuando el fluido se está inyectando, desplaza el aire al interior de la cavidad, por lo que se necesitan pequeños conductos de aire que permiten la salida del aire interior. Finalmente, los pasadores eyectores son los encargados de expulsar la pieza desde el molde.

- Desventajas

Cuando el polímero se solidifica antes de que se llene la cavidad por completo, significa que el caudal de entrada no es suficiente (disparo), o la presión y temperatura son bajas para esa configuración. Importante es seleccionar una máquina adecuada para la necesidad de disparo.

Otra desventaja es que surjan rebabas de material sólido en la pieza o hacia fuera del molde. Esto ocurre por causas diversas como: Conductos o claros muy grandes para el molde, presión de inyección alta en comparación a la fuerza de unión entre las partes del molde, temperatura de fusión muy elevada o excesivo caudal de entrada al molde.

Defectos comunes, en secciones moldeadas con mucho volumen, es el hundimiento y vacíos. Estas ocurren cuando la superficie exterior se solidifica, y por la contracción del polímero al interior, se genera un sólido con forma distinta a la esperada. En cambio, el vacío se genera por la misma solidificación exterior, con la diferencia que ya no hay contracción al interior, sino que se genera un vacío por las fuerzas de tensión provocadas

por el sólido exterior. Ambas desventajas se apalean con una mayor presión de compactación post inyección. Y, referente a la causa principal, una buena solución es generar moldes con menos espacios entre sus paredes, para no tener volúmenes tan grandes que provoquen estos fenómenos.

Finalmente, un defecto provocado por flujos de resina que llenan el molde y llegan a un punto en direcciones opuestas, es el llamado formación de líneas de soldadura. Estos puntos son concentradores de esfuerzos, por lo que se deben evitar. Una forma de no provocar este fenómeno es aumentando presiones y temperaturas de inyección, así como cambiar la posición del inyector en el molde, que cambiará los flujos dentro de este.

- Ciclo de proceso

Tabla 54: Ciclo del proceso de inyección.

Unidad de inyección	Unidad de cierre	Molde
-	Cierre del molde	-
-	Mantenimiento de la fuerza de cierre	Ajuste a la piqueta de la boquilla
Desplazamiento del pistón		Inyección
Mantenimiento de la presión		Consolidación bajo presión
Cierre de válvula		Enfriamiento del molde
Giro y retroceso del husillo para plastificación y acumulación de material	Separación de la boquilla	
-	Apertura del molde	Expulsión de la pieza moldeada, de mazarota y material de conductos
-		Expulsión de la pieza moldeada

- Gráfico temperatura volumen específico

En este gráfico se puede apreciar como el volumen específico (m^3/kg) varía en función de la temperatura. El ciclo comienza en el trazo AB, donde se llena el molde y la presión cambia de atmosférica a la presión de inyección. Después, entre B y C, a presión constante se sigue depositando material al interior del molde y se enfría la mezcla producto de la transferencia de calor hacia el molde. En el punto C, una vez detenida la inyección de mezcla, se procede a enfriar hasta la temperatura de consolidación T_g . En el trazo CD, ocurre la primera fase de enfriamiento.

Disminuye la temperatura de la mezcla sin variar el volumen de este (sin contracción), y adicionalmente se despresuriza el molde. Finalmente, en el trazo DE, ocurre la segunda fase de enfriamiento, donde cambia completamente a fase sólida y además se contrae la mezcla. La temperatura baja desde la temperatura de consolidación, hasta la temperatura ambiente.

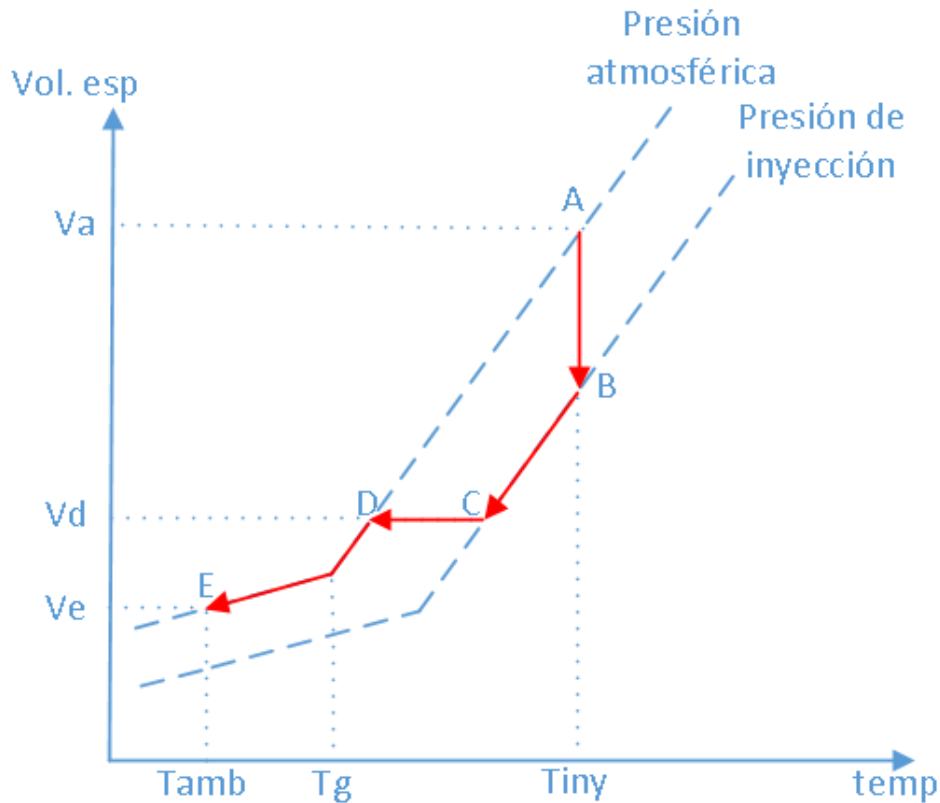


Figura 70: Gráfico de volumen específico en función de la temperatura. Representa como cambian dichas magnitudes dentro del molde. La recta segmentada con menor pendiente muestra la fase sólida de la mezcla, mientras que la con mayor pendiente es la fase líquida.

Importante es señalar que la contracción solo ocurre a presión atmosférica, por lo tanto si no se hubiera presurizado el molde, la contracción hubiera sido mucho mayor.

- Adaptación para polímeros termo fijos

Cuando se utilizan polímeros termo fijos en el moldeo por inyección, se deben tomar ciertas precauciones respecto a los equipos. En la sección “Tipos de entrecruzamiento de polímeros y sus propiedades” se comenta que los polímeros termo fijos son de tipo ramificados, que el entrecruzamiento se lleva a cabo a elevadas temperaturas.

Con el fin de reforzar el entrecruzamiento en el momento indicado, lo que significa retardar el curado y solidificación, es necesario acortar la carrera del barril del tornillo recíproco [44]. Es por esto que las temperaturas del barril se mantienen bajas (50 a 125 [°C]) dependiendo del tipo de polímero termo estable. Pero en el momento que se va a inyectar, este debe alcanzar de 150 a 230 [°C] que es la temperatura aproximada de entrecruzamiento (dependiendo del polímero). Esto genera que el ciclo aumente la duración de 20 segundos a 2 minutos aproximadamente. Es posible retirar la pieza mientras aún no ha curado, ya que con el mismo calor que conserva en su interior sigue curando. A muchos de los procesos de inyección que utilizan polímeros termo fijos, se le adicionan elementos complementarios para generar un material compuesto, los cuales pueden ser hasta el 70 [%] del peso de la pieza.

11.4.2. Moldeo por compresión

Según el libro “Fundamentos de manufactura moderna” [44], este proceso consiste en depositar en la parte inferior de un molde caliente una proporción justa de resina. Después se junta esa mitad inferior, con su respectiva parte superior, y se realiza una compresión del material entre las mitades, tomando la forma interior de estas. Luego, la resina al interior se comienza a calentar por medio de los moldes a alta temperatura, lo que genera el curado. Finalmente, se abren ambas mitades y se extrae la pieza formada.

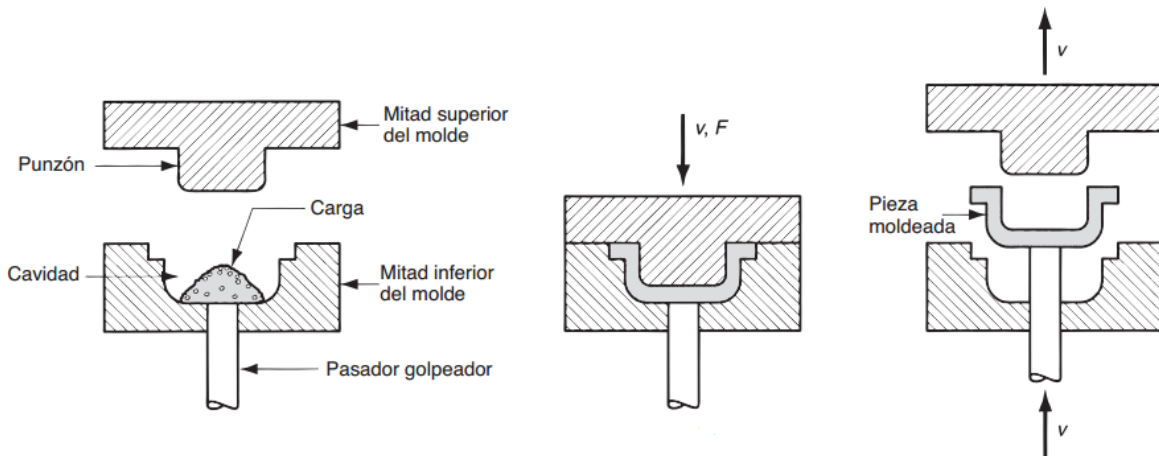


Figura 71: Proceso de formado por compresión. Instalación del polímero en el molde, posteriormente compresión en caliente, y finalmente apertura del molde.

El polímero al interior del molde o carga, puede estar en estado sólido (pellets), polvo o preformado (líquido). Este último estado ayuda a acortar el tiempo del ciclo del proceso, ya que, al estar “pre-calentado”, el polímero no necesita tanta diferencia de temperatura al estar dentro del molde.

- Equipos

Consta de un molde con dos partes, superior e inferior, que generalmente son de complejidad menos a los de moldeo por inyección. No constan de canales de suministro de resina, pero sí de conductos para calentar el molde con agua, vapor u otro tipo de fluido. Otra forma de calentar el molde es a través de resistencias eléctricas.

- Desventajas

La complejidad de las piezas no es tan acabada como en otros tipos de moldeo.

Pero es ideal para piezas de carácter plano o semiplano.

Otra desventaja es que los ciclos de producción son más largos en comparación al moldeo por inyección. Otra característica es que principalmente se utiliza en polímeros termofijos.

11.4.3. Moldeo por transferencia

Este proceso se diferencia de los demás en que la carga se deposita en un recipiente previo al molde [44]. Inicialmente la carga se calienta, para después ser presionada por un pistón, que al aplicar fuerza, obliga al fluido a desplazarse por un conducto hacia el molde. Importante es que el polímero viene preformado para ser depositado en la cavidad previa.

- Equipos

Por un lado, utiliza recursos del moldeo por compresión (pistón), pero también incluye características del moldeo por inyección, como es que el polímero se calienta en una cavidad fuera del molde. En la siguiente imagen, se observa que se utiliza un molde similar al moldeo por inyección, con la diferencia que no hay un inyector en sí, sino que el pistón desplaza la mezcla. También se utiliza el recurso de pasadores eyectores para expulsar la pieza formada.

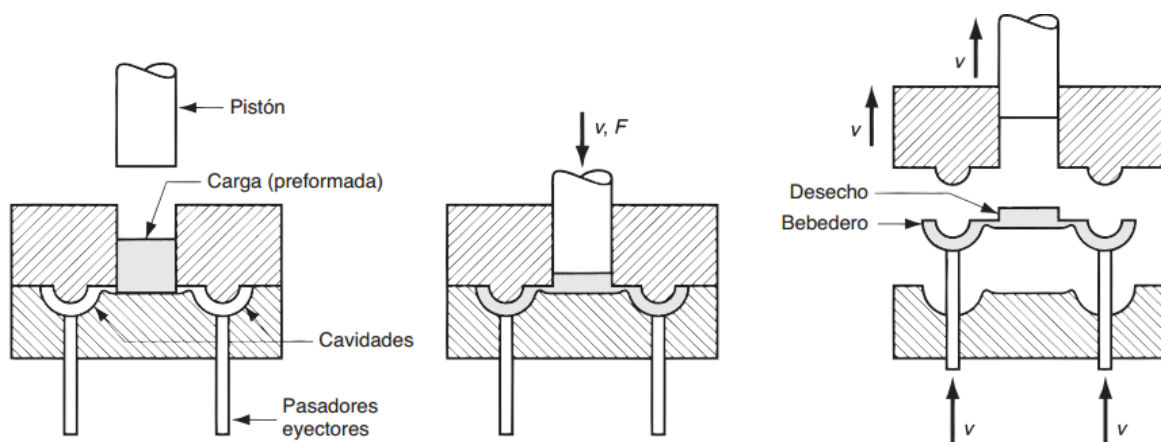


Figura 72: Moldeo por transferencia, un sistema que recoge características del moldeo por compresión e inyección.

- Desventajas

Se genera inicialmente material de desecho entre el conducto que une el recipiente y el molde, y también en el espacio entre el pistón y el recipiente. El tipo de polímeros utilizados está condicionado a elastómeros y termo estables.

11.5. Características de la mezcla refuerzo-matriz

Tabla 55: Definición de magnitudes utilizadas en teoría de mezclas.

Sigla	Definición	Sigla	Definición
Mf	Fracción de fibra de la masa total	ec	espesor caja
Mm	Fracción de matriz de la masa total	lp	largo particulado
Vf	Fracción de volumen de fibra del total	La	Largo caja
Vm	Fracción de volumen de matriz del total	An	Ancho caja
mf	masa de fibras	Al	Alto caja
mm	masa de matriz	Sc	superficie caja
mt	masa total	Ap	Área partícula
vf	volumen de fibra	cp	cantidad de partículas
vm	volumen de matriz	dm	densidad matriz
vt	volumen total	LaLad	Largo ladrillo
cc	cantidad de cajas	AnLad	Ancho ladrillo
pc	peso de 1 caja	Allad	Alto ladrillo

Las fórmulas utilizadas fueron:

$$\begin{aligned}
 m_f + m_m &= m_t \text{ [kg]} \\
 M_f &= \frac{m_f}{m_t} \text{ [-]} \\
 M_m &= \frac{m_m}{m_t} \text{ [-]} \\
 v_f + v_m &= v_t \text{ [m}^3\text{]} \\
 V_f &= \frac{v_f}{v_t} \text{ [-]} \\
 V_m &= \frac{v_m}{v_t} \text{ [-]} \\
 Allad &= \frac{v_t}{LaLad * AnLad} * 100 \text{ [cm]}
 \end{aligned}$$

$$cc = \frac{m_f}{pc} [un]$$

$$sc = 2 * (La * An + La * Al + An * Al) [m^2]$$

$$Ap = lp * lp [m^2]$$

$$cp = \frac{sc}{Ap} [un/caja]$$

$$v_f = cp * Ap * ec * cc [m^3]$$

$$v_m = \frac{m_m}{dm} [m^3]$$

Se definen arbitrariamente algunos valores de especificaciones del ladrillo como: fracción de masa de la fibra respecto al total peso total del ladrillo, largo del particulado, largo y ancho del ladrillo sólido. El peso del ladrillo es un parámetro que, en la industria y normas de los juguetes para niños, no está claramente establecida, pero se fija un valor que se considera suficiente para el izaje por un niño, niña o joven. También, para que el ladrillo pueda encajar con los demás de su tipo, se establece que el largo del ladrillo, debe ser el doble del ancho de este.

Tabla 56: Valores definidos para el diseño del ladrillo.

DATOS		
Constante	Valor	Unidad
Mf	0,3	
mt	1	kg
lp	0,003	m
LaLad	0,16	m
AnLad	0,08	m

Por otro lado, según especificaciones técnicas y medidas, se define el valor de las siguientes magnitudes: Peso de una caja de Tetra Pak ®, espesor de una lámina de Tetra Pak ®, largo/ancho/alto de una caja de Tetra Pak ®, densidad de la resina Epoxi [56].

Tabla 57: Valores de magnitudes pertenecientes a los materiales a utilizar.

DATOS		
Constante	Valor	Unidad
pc	0,028	kg
ec	0,000444	m
La	0,095	m
An	0,06	m
Al	0,165	m
dm	1046	kg/m ³

Los valores resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 58: Magnitudes encontradas de la teoría de mezclas.

Magnitud	Valor	Unidad
mf	0,3	kg
mm	0,7	kg
mt	1	kg
Mf	0,3	-
Mm	0,7	-
vf	2,98E-04	m ³
vm	6,69E-04	m ³
vt	9,67E-04	m ³
Vf	0,308	-
Vm	0,692	-
cc	10,714	un
Sc	6,26E-02	m ²
Ap	9,00E-06	m ²
cp	6950	Un/caja
Allad	7,553	cm

Los valores más importantes encontrados para un ladrillo de 1 [kg] son:

- Se necesitan aproximadamente 11 cajas de Tetra Pak ® para un ladrillo
- El largo/ancho/alto del ladrillo será aproximadamente 16/8/8 [cm]

Si se hacen variar las magnitudes de Fracción de fibra de la masa total M_f y se mantiene constante el peso total del bloque (1 [kg]), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 59: Comparativa para un ladrillo de 1[kg] de peso de magnitudes como: cantidad de cajas usadas por ladrillo (cc), Alto ladrillo (Allad) y volumen de matriz (vm).

Magnitud	Unidad	$M_f=0,3$	$M_f=0,4$	$M_f=0,5$
cc	[un]	10,71	14,29	17,86
LaLad	[m]	0,16	0,16	0,16
AnLad	[m]	0,08	0,08	0,08
Allad	[m]	0,0755	0,0758	0,0761
vm	[l]	0,669	0,574	0,478

Importante es notar que las dimensiones de este ladrillo son sólidas, y dado que en la práctica no se busca un bloque sólido, sino con agujeros y espacios para aumentar el volumen de aire dentro de este y lograr aumentar sus dimensiones generales. Otro factor beneficioso de esto, es que al tener más cavidades la pieza, es más fácil de producir en el molde, aumentando los tiempos de consolidación y por lo tanto del proceso en general.

Si se realizan todos los cálculos, con la modificación que el peso del bloque debe ser ya no 1[kg], sino 0,5 [kg] se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 60: Comparativa para un ladrillo de 0,5[kg] de peso de magnitudes como: cantidad de cajas usadas por ladrillo (cc), Alto ladrillo (Allad) y volumen de matriz (vm).

Magnitud	Unidad	$M_f=0,3$	$M_f=0,4$	$M_f=0,5$
cc	[un]	5,54	7,14	8,93
LaLad	[m]	0,16	0,16	0,16
AnLad	[m]	0,08	0,08	0,08
Allad	[m]	0,0378	0,0379	0,0380
vm	[l]	0,335	0,287	0,239

Como se puede apreciar, las dos tablas anteriores, con especificación de 1 y 0,5 [kg] de peso total del bloque, están a una relación 2:1. Debido a que se requieren dimensiones más grandes que las obtenidas para un ladrillo sólido, y ser sólido no es una especificación ni restricción técnica, se asume que con el diseño de un molde adecuado se puede obtener más volumen general (mezcla + aire). La misma masa y volumen de mezcla pueden ser depositados en un molde para obtener el volumen de un ladrillo con el doble de volumen dimensional. Por lo anterior, se escoge este supuesto para los cálculos posteriores.