



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

APLICACIÓN DEL DISEÑO CONCURRENTES DE UNA MÁQUINA BRIQUETADORA

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la
ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CONTROL
Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Riobamba – Ecuador

Julio - 2017



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación** modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado: “**APLICACIÓN DEL DISEÑO CONCURRENTES DE UNA MÁQUINA BRIQUETADORA**”, de responsabilidad de la Ing. Verónica Marisol Gallo Caiza ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

ING. JUAN VARGAS GUAMBO; M.Sc.

PRESIDENTE

ING. PATRICIA CONSTANTE PRÓCEL; M.Sc.

DIRECTORA DE TESIS

ING. ANDRÉS GORDÓN GARCÉS; M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. DARÍO MENDOZA CHIPANTASI; M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Riobamba, Julio – 2017

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Verónica Marisol Gallo Caiza, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA

Nº Cédula: 050287714-5

©2017, Verónica Marisol Gallo Caiza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA

N° Cédula: 050287714-5

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Verónica Marisol Gallo Caiza, declaro que el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, julio de 2017.

VERÓNICA MARISOL GALLO CAIZA

N° Cédula: 050287714-5

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios y a mis padres Luis y Elsa, por ser el mayor motivo de inspiración para seguir adelante alcanzando y cumpliendo metas.

Verónica Gallo

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero a Dios por regalarme un día más de vida, y darme la oportunidad de hacer las cosas que me gustan en compañía de mi familia, amigos y compañeros de trabajo. A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional para alcanzar esta meta, por sus palabras de aliento para no desmayar en el transcurso del proceso de alcanzar un escalón más en la vida. A mis mejores amigas Pame, Sandra y Wendy porque a pesar de la distancia y el tiempo siempre abra un momento en el que nos acordamos de esas amigas del alma y que con una palabra de aliento o consejo nos animan a seguir adelante. A mi amigo y compañero de trabajo Gustavo, por la paciencia y el apoyo incondicional brindado durante este proceso, gracias por los consejos y la ayuda recibida para alcanzar esta meta. A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por abirme las puertas de su prestigiosa institución y por ultimo a la Ing. Patricia Constante M.Sc, tutora y amiga, mil gracias por el apoyo y la ayuda en el objetivo de alcanzar mi sueño, a mis tutores Ing. Darío Mendoza M.Sc e Ing. Andrés Gordón M.Sc por guiarme en este proceso de titulación.

Verónica Gallo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de investigación.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.	2
1.1.2 Formulación del problema.....	4
1.1.3 Sistematización del problema.....	4
1.2 Justificación de la investigación.....	4
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótesis.	6

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1 Estado del arte.	7
2.2 Ingeniería concurrente.	8
2.2.1 Concepto.....	8
2.2.2 Fundamentos de la ingeniería concurrente.	9
2.2.3 Principios básicos de ingeniería concurrente.....	10

2.2.4	Componentes de la Ingeniería Concurrente.....	10
2.2.5	Mecanismos de la Ingeniería Concurrente.	11
2.2.6	Técnicas y herramientas de la ingeniería concurrente	12
2.2.7	Ciclo de vida de un producto (CVP)	18
2.2.8	Diseño mecatrónico.....	20
2.3	Briquetas.....	23
2.3.1	Conceptos.	23
2.3.2	Forma, tamaño y color.....	24
2.3.3	Densidad.....	25
2.3.4	Humedad.....	26
2.3.5	Composición Química	27
2.3.6	Poder calorífico.	27
2.3.7	Briquetado.	27
2.4	Máquinas briquetadoras.....	28
2.4.1	Definición.....	28
2.4.2	Componentes.....	30
2.4.3	Tipos de máquinas briquetadoras.....	33

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO CONCURRENTE DE UNA MÁQUINA BRIQUETADORA	36
3.1	Diseño conceptual del sistema de la máquina briquetadora.	36
3.1.1	QFD Despliegue de la función de la calidad.	36
3.2	Diseño funcional del sistema de la máquina briquetadora.	42
3.2.1	Análisis funcional y generación de módulos.....	42
3.2.2	Generación de alternativas.....	45
3.2.3	Método de evaluación de soluciones.....	46

3.3	Diseño de detalle de la máquina briquetadora.	61
3.3.1	Requerimientos productivos.	61
3.3.2	Cálculo y dimensionamiento del módulo de alimentación.	61
3.3.3	Cálculo y dimensionamiento del módulo de trituración.	64
3.3.4	Cálculo y dimensionamiento del módulo de compactación.	77
3.3.5	Cálculo y dimensionamiento del módulo de corte de la briqueta.	86
3.3.6	Cálculo y dimensionamiento del módulo de recolección.	87
3.3.7	Cálculo y dimensionamiento estructural.	88
3.4	Sistema de control automático.	90
3.4.1	Circuito de fuerza.	91
3.4.2	Circuito de control con PLC.	91
3.4.3	Selección de elementos y dispositivos.	91
3.5	Integración de Sistemas.	100
3.6	Simulación de sistemas.	103
3.6.1	Simulación del sistema mecánico.	103
3.6.1	Simulación del sistema de control.	105
3.7	Validación de la Hipótesis.	106
3.8	Presupuesto del proyecto.	110

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Relaciones longitud/diámetro de la briqueta.	25
Tabla 1-3:	Identificación de clientes.	37
Tabla 2-3:	Importancia de las necesidades del cliente.	38
Tabla 3-3:	Importancia de la relación necesidades de los clientes vs parámetros de diseño.	38
Tabla 4-3:	Especificaciones para el diseño.	39
Tabla 5-3:	Parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.	40
Tabla 6-3:	Generación de alternativas para el módulo 1.	45
Tabla 7-3:	Generación de alternativas para el módulo 2.	45
Tabla 8-3:	Generación de alternativas para el módulo 3.	46
Tabla 9-3:	Generación de alternativas para el módulo 4.	46
Tabla 10-3:	Generación de alternativas para el módulo 4.	46
Tabla 11-3:	Evaluación de criterios del módulo 1.	48
Tabla 12-3:	Evaluación del criterio peso moderado.	48
Tabla 13-3:	Evaluación del criterio fácil manipulación.	49
Tabla 14-3:	Evaluación del criterio funcional.	49
Tabla 15-3:	Tabla de conclusiones del módulo 1.	50
Tabla 16-3:	Evaluación de criterios del módulo 2.	51
Tabla 17-3:	Evaluación del criterio capacidad de almacenamiento.	51
Tabla 18-3:	Evaluación del criterio ángulo de caída.	52
Tabla 19-3:	Evaluación del criterio ergonomía.	52
Tabla 20-3:	Tabla de conclusiones del módulo 2.	52
Tabla 21-3:	Evaluación de criterios del módulo 3.	53
Tabla 22-3:	Evaluación del criterio forma y tamaño.	54
Tabla 23-3:	Evaluación del criterio fuerza de corte.	54
Tabla 24-3:	Evaluación del criterio material.	55
Tabla 25-3:	Evaluación del criterio mantenimiento.	55
Tabla 26-3:	Tabla de conclusiones del módulo 3.	55
Tabla 27-3:	Evaluación de criterios del módulo 4.	56
Tabla 28-3:	Evaluación del criterio presión.	57

Tabla 29-3: Evaluación del criterio presión.....	57
Tabla 30-3: Evaluación del criterio tamaño y forma.	57
Tabla 31-3: Tabla de conclusiones del módulo 4.....	58
Tabla 32-3: Evaluación de criterios para el módulo 4.	59
Tabla 33-3: Evaluación del criterio fuerza de corte.	59
Tabla 34-3: Evaluación del criterio velocidad de corte.	59
Tabla 35-3: Evaluación del criterio método de corte.	60
Tabla 36-3: Tabla de conclusiones del módulo 5.....	60
Tabla 37-3: Requisitos para el dimensionamiento del módulo de compactación.....	78
Tabla 38-3: Parámetros del motor reductor para la trituradora.....	92
Tabla 39-3: Selección de los moto reductores.	92
Tabla 40-3: Selección del sensor de nivel.....	93
Tabla 41-3: Selección del sensor para detección de objetos.	95
Tabla 42-3: Selección de interruptor final de carrera.....	96
Tabla 43-3: Entradas y salidas del PLC.....	97
Tabla 44-3: Selección del controlador lógico programable.	98
Tabla 45-3: Selección del actuador eléctrico.	99
Tabla 46-3: Parámetros técnicos de la máquina briquetadora.	102
Tabla 47-3: Tabla de Contingencia.....	107
Tabla 48-3: Presupuesto del proyecto.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Equipo multidisciplinario de IC.	9
Figura 2-2:	Metodologías y herramientas de la IC.	14
Figura 3-2:	Herramientas utilizadas en la IC.	15
Figura 4-2:	Comunicación sobre la pared o salto de muro.	19
Figura 5-2:	Aspectos básicos de la ingeniería.....	20
Figura 6-2:	Briquetas	24
Figura 7-2:	Secciones de briquetas.	25
Figura 8-2:	Prensa de pistón mecánico.	28
Figura 9-2:	Alimentador y pre-acondicionador de la máquina.	30
Figura 10-2:	Pre-acondicionador.	31
Figura 11-2:	Matrices: a) anular y b) plana.	32
Figura 12-2:	Matriz y rodillo de presión.....	33
Figura 1-3:	Nivel 0: Función principal.	43
Figura 2-3:	Nivel 1: Análisis Funcional.	43
Figura 3-3:	Determinación de módulos.	44
Figura 4-3:	Prototipo de la máquina briquetadora.	60
Figura 5-3:	Volumen de una pirámide truncada	62
Figura 6-3:	Tolva de alimentación.....	63
Figura 7-3:	Disco cortante de la trituradora.....	65
Figura 8-3:	Fuerzas en los discos de corte.....	65
Figura 9-3:	Trituradora.	66
Figura 10-3:	Dos ejes de trituración con.....	67
Figura 11-3:	Trituradora.....	69
Figura 12-3:	Diagramas: a) Fuerza b) Corte y c) Momento	70
Figura 13-3:	Ciclo de carga en el caso de la flexión.....	71
Figura 14-3:	Ciclo de carga en el caso de la torsión.....	71
Figura 15-3:	Factor de acabado superficial.....	73
Figura 16-3:	Factor de tamaño.....	73

Figura 17-3: Factor de esfuerzo.....	74
Figura 18-3: Factor de confiabilidad.....	75
Figura 19-3: Análisis estático de Von Misses.....	76
Figura 20-3: Análisis estático de deformación unitaria.....	77
Figura 21-3: Geometría típica de un tornillo extrusor.....	78
Figura 22-3: Hélice de paso variable.....	79
Figura 23-3: Dureza de briquetas conseguidas con distinta presión.....	84
Figura 24-3: Análisis de Von Misses en tornillo sin fin.....	85
Figura 25-3: Análisis de FDS del tornillo sin fin.....	86
Figura 26-3: Actuador eléctrico.....	86
Figura 27-3: Cuchilla de corte.....	87
Figura 28-3: Colector de vacío y tubos.....	87
Figura 29-3: Recolección de briquetas: a) Recipiente de almacenamiento b) Rampa.....	88
Figura 30-3: Longitud del recipiente.....	88
Figura 31-3: Cargas sobre la estructura.....	89
Figura 32-3: Análisis de tensión axila y de flexión.....	89
Figura 33-3: Factor de seguridad.....	90
Figura 34-3: Resistencia tipo banda.....	100
Figura 35-3: Integración de sistemas en la briquetadora.....	101
Figura 36-3: Determinación de parámetros para el motor del eje.....	103
Figura 37-3: Determinación de parámetros para el motor del tornillo.....	104
Figura 38-3: Simulación del movimiento del eje y tornillo.....	104
Figura 39-3: Graficet del PLC.....	105
Figura 40-3: Distribución Chi Cuadrado.....	109
Figura 41-3: Áreas de aceptación y rechazo.....	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3: Porcentaje de Humedad.....	41
Ecuación 2-3: Volumen de la tolva.....	62
Ecuación 3-3: Volumen de la pirámide truncada.....	62
Ecuación 4-3: Volumen de la partícula de aserrín.....	64
Ecuación 5-3: Torque del motor reductor del sistema de trituración.....	66
Ecuación 6-3: Par del moto reductor.....	68
Ecuación 7-3: Fuerza normal.....	69
Ecuación 8-3: Tensión de deformación máxima.....	70
Ecuación 9-3: Tensión máxima.....	70
Ecuación 10-3: Tensión limite.....	72
Ecuación 11-3: Tensión limite a fatiga.....	72
Ecuación 12-3: Volumen en la zona de compresión.....	79
Ecuación 13-3: Relación de compresión.....	80
Ecuación 14-3: Número de revoluciones.....	81
Ecuación 15-3: Cálculo de revoluciones.....	82
Ecuación 16-3: Ángulo de hélice.....	82
Ecuación 17-3: Coeficiente virtual de fricción.....	83
Ecuación 18-3: Cálculo de potencia del motor.....	83
Ecuación 19-3: Torque del motor reductor del sistema de compactación.....	84
Ecuación 20-3: Potencia requerida.....	85
Ecuación 21-3: Frecuencia esperada.....	108
Ecuación 20-3: Grados de libertad.....	108
Ecuación 20-3: Chi cuadrado.....	109

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar una máquina briquetadora mediante la metodología integradora de la ingeniería concurrente para la producción de briquetas de serrín y viruta en la empresa DECOSA CIA LTDA, ubicada en la ciudad de Quito. Con el fin de cumplir con el objetivo se incorporó los métodos de investigación deductivo y experimental, los cuales permitieron realizar el diseño de las partes fundamentales en las que se debe trabajar para realizar un diseño concurrente, es así que se desarrolló el diseño conceptual en el cual se establece las especificaciones iniciales requeridas por el usuario en cuanto a las especificaciones de la máquina. La herramienta que se empleó para el desarrollo de esta etapa fue el Despliegue de la función de la calidad (QFD), la cual implicó la construcción de la matriz de la casa de la calidad, esta matriz ayudó a controlar y medir los parámetros de diseño. Para el diseño funcional, se empleó el análisis funcional, el cual permitió establecer 5 módulos que forman parte de la briquetadora, con cada una de sus funciones, las alternativas de solución que se determinaron para cada módulo fueron evaluadas por el método de los criterios ponderados, lo cual permitió establecer la mejor alternativa de diseño conceptual y funcional. En la fase del diseño de detalle se definió los materiales y se dimensionó cada uno de los módulos de la máquina con ayuda de la herramienta SolidWork, se determinó una presión de 30 Mpa para la compactación del material y una dureza del 90%. Para complementar con la fase de detalle se seleccionó el PLC SIEMENS S7-200 y sensores de nivel de paleta rotativa, que ayudan a la propuesta de automatización de la máquina briquetadora. Con la implementación de esta metodología se logró reducir los tiempos de desarrollo en el diseño y se creó una máquina que a través de la implementación, pueda ser competitiva en el mercado. Se recomienda analizar y estudiar la posibilidad de la implementación de la máquina briquetadora en los sectores madereros, especialmente en las fábricas que presentan un alto grado de acumulación de desperdicios de aserrín y viruta

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMÁTICO> <MÁQUINA BRIQUETADORA>, <DISEÑO CONCURRENTE>, <ANÁLISIS FUNCIONAL>, <DISEÑO FUNCIONAL>, <MÓDULOS FUNCIONALES>

SUMMARY

The present work has the purpose of designing a briquetting machine through the integrative methodology of the concurrent engineering for the production of sawdust briquettes and chip in the company DECOSA CIA LTDA, located in the city of Quito. In order to comply with the objective, the deductive and experimental research methods were incorporated, which allowed the design of the fundamental parts in witch to work for a concurrent design, so that the conceptual design was developed in the witch establishes the initial specifications required by the user regarding the specifications of the machine. The tool that was used for the developed of this stage was the Quality Function Deployment (QFD), which involved the construction of the quality house matrix, this matrix helped to control and measure the design parameters. For the functional design, the functional analysis was used, which allowed to establish 5 modules that are part of the briquetting machine, with each one of its functions, the solutions alternatives that were determined for each module were evaluated by the method of the weighted criteria, which allowed to establish the best alternative conceptual and functional design. In the phase of the details design the materials were defined and each of the modules of the machine was dimensions with the help of the Solidwork tool, a pressure of 30 Mpa was determined for the compaction of the material and a hardness of 90%. To complete de detail phase, the SIEMENS S7-200 PLC and rotary vane level sensors were selected, which help the automation proposal of the briquetting machine. With the implementation of this methodology it was possible to reduce development times in the design and created a machine that through the implementation, can be competitive in the market. It is recommended to analyze and study the possibility of the implementation of the briquette machine in the timber sectors, especially in the factories that present a high degree af accumulation of sawdust and chip waste.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro del sector maderero, se ha podido detectar con frecuencia los remanentes de madera que se generan en las líneas de producción de pequeñas y medianas industrias pertenecientes a este sector. En ciertos casos estos desechos o residuos pueden ser recuperados y reutilizados con el fin de generar una fuente de energía de calor renovable como es la biomasa (Fonseca & Tierra, 2011, pág. 1).

Las empresas o industrias madereras buscan alternativas que ayuden a dar un valor agregado a los residuos que producen sus plantas, y a la vez ayude a reducir la contaminación que genera la mayoría de industrias al incinerar los desechos al aire libre, lo cual provoca daños al medio ambiente. De esta manera surge la idea de fabricar briquetas de desechos maderables como lo es el serrín y viruta (Dávalos Fassler, 2012).

Como solución a esta problemática, se ha realizado trabajos para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz permitiendo determinar la factibilidad de la producción de briquetas. En Ecuador, existe proyectos dedicados a analizar y estudiar las características y parámetros requeridos para la fabricación de las mismas, por lo que se llega a la conclusión de que es factible producir un biocombustible que aporte con un alto grado de poder calorífico y que reduzca el porcentaje de contaminación ambiental (Cabezas, 2009).

En base a los estudios realizados para determinar la factibilidad de la producción de briquetas y como fuente de aportación, este trabajo pretende contribuir con la aplicación de una metodología o técnica innovadora para el diseño de una máquina briquetadora, basada en el concepto de Diseño Concurrente, la cual permita generar valor, reducir el costo de diseño, dar facilidad a la producción de briquetas de biomasa de serrín y viruta, reducir la mano de obra, e incrementar la producción y cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente.

El Diseño Concurrente tiene como objetivo principal la obtención de un enfoque sistemático para el diseño simultáneo interdisciplinar de un producto y los procesos que conlleva, abarca el diseño de productos, procesos y sistemas de fabricación al considerar de forma simultánea todos los aspectos del ciclo de vida del producto. Aunque los principios y conceptos de Ingeniería Concurrente se

consideran suficientemente maduros, existe complejidad de muchos productos de ingeniería por la gran variedad de herramientas existentes.

El objetivo de este trabajo es aplicar una técnica y herramienta de Diseño Concurrente para el desarrollo del diseño de la máquina briquetadora.

1.1 Problema de investigación.

1.1.1 Planteamiento del problema.

La mayoría de fábricas dedicadas a la elaboración de productos en madera, presentan un problema en sus líneas de producción que ha generado pérdidas económicas por la cantidad alta de serrín y viruta que se acumula sin un uso apropiado o un mercado que logre utilizarlo. Tal es el caso de la empresa DECOSA CIA LTDA, ubicada en la ciudad de Quito-Ecuador.

DECOSA CIA LTDA, es una empresa dedicada al diseño y fabricación de muebles de madera y productos relacionados. Su principal tarea es el diseño especializado en base a las necesidades específicas de sus clientes.

Su gerente propietario solo cuenta con la alternativa de utilizar estos desperdicios como medio de combustión, lo cual genera emisión de CO₂ (Dióxido de Carbono), lo cual provoca la contaminación del medio ambiente. Otra de sus alternativas, es el de contratar los servicios externos de un gestor ambiental que retire estos desperdicios de la planta de producción y los lleve a un lugar donde se los pueda comercializar como desechos de madera, lo cual genera un egreso más para la empresa.

La fábrica busca una nueva propuesta o alternativa dentro del campo de la biomasa para utilizar los recursos renovables (serrín y viruta) que provienen de la madera, que le permita recuperar o reutilizar los remanentes de madera, permitiéndole conseguir un valor agregado de los desperdicios que genera su planta de producción. (Fredes, 2014).

Al estudiar esta problemática, surge la necesidad de investigar los métodos, técnicas, equipos o metodologías que permitan solucionar los problemas que se presentan en las líneas de producción de las fábricas dedicadas a la elaboración de productos de madera.

En ciertos casos los desechos o residuos de serrín y viruta son utilizados para generar una fuente de energía de calor renovable, de esta manera surge la idea de fabricar briquetas de serrín y viruta provenientes de estos desechos (Fredes, 2014).

En Ecuador, existen pequeños productores artesanales dedicados a la fabricación de este tipo de briquetas, la pequeña producción que se realiza se lo hace de forma artesanal, lo cual ocasiona largas horas de trabajo, cansancio físico y riesgo de no cumplir con las especificaciones que requiere el producto, lo cual se convierte en un inconveniente para los propietarios de las empresas que desean incorporar una nueva forma de reutilizar los desechos de madera que provienen de sus fábricas, debido a que deben pagar la mano de obra artesanal y corren el riesgo de no obtener un producto de calidad y con una muy baja producción de briquetas (Hernández, 2011).

Dentro de la investigación para este proyecto se encontró algunos trabajos de máquinas o equipos que cumplen con la función de fabricar briquetas de biomasa, los mismos que se describen a continuación:

Contreras Bernal, O.D. & Espinoza L., M., (2010), realizaron en su proyecto, un diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas de urea en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, este diseño se lo realizó de manera secuencial ocasionando algunos inconvenientes en la variación de las RPM (Revoluciones por minuto). El diseño de la máquina consta de una parte mecánica para la producción de briquetas, lo cual requiere de la mano de obra de los productores. El principal inconveniente que se presentó en este trabajo fue el de emplear diseño secuencial, por lo que es importante aplicar una nueva alternativa de diseño que permita optimizar tiempos de producción, cumplir con los requerimientos técnicos y reducir costos de fabricación.

Cabezas (2009), presenta en su trabajo “Diseño de un Sistema de Compactación de Biomasa de Cascarilla de Arroz y Serrín, en la Producción de Bloques Sólidos Combustibles (BSC)”, el diseño de una compactadora de biomasa la cual comprende el análisis físico-químico y la determinación de las dimensiones necesarias para el diseño de la compactadora. En este trabajo se muestra principalmente el análisis y dimensionamiento del sistema de compactación que se requiere para producir briquetas de biomasa de cascarilla de arroz y serrín.

Arpi & Calderón (2010), en su trabajo titulado Diseño de una Máquina Pelletizadora en Base a la Disponibilidad de Residuos Madereros de la Ciudad de Cuenca para su Aprovechamiento Energético, expone un diseño completo de una máquina pelletizadora de madera, basado en las características que posee la materia prima y a las propiedades que se deseen proporcionar a esta. En este trabajo existe una investigación completa de cada una de las etapas por las que debe pasar la materia prima hasta convertirse en una briqueta de biomasa, con especificaciones técnicas requeridas por el cliente.

1.1.2 *Formulación del problema.*

¿Es posible que con la aplicación del diseño concurrente, se pueda diseñar un sistema simultáneo de una máquina briquetadora que logre una máxima eficiencia, en el aprovechamiento de residuos maderables?

1.1.3 *Sistematización del problema.*

¿El emplear diseño concurrente en el bosquejo de una máquina briquetadora, permitirá realizar una selección simultánea de los sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos y de control, para una mejor optimización del proyecto?

¿Desarrollar una propuesta del ciclo de vida de la máquina briquetadora, proporcionará el diseño de cada etapa de la máquina, para alcanzar un efecto catalítico en el desarrollo del proceso?

¿Emplear ingeniería concurrente, en el diseño de una máquina briquetadora, permitirá una ejecución más rápida del proyecto, reduciendo los costos de desarrollo y de producción?

1.2 *Justificación de la investigación.*

La aplicación de la metodología del diseño concurrente en la delineación de una máquina briquetadora, permitirá simplificar el proceso de producción de briquetas, reduciendo el tiempo de

producción y adecuando a la máquina para cumplir con las necesidades requeridas por el cliente, logrando así un mejor desempeño con un menor costo y un mejor estándar de calidad.

Realizar el diseño concurrente de una máquina briquetadora que produzca briquetas de biomasa de serrín y viruta beneficiara de manera directa al gerente propietario de la empresa DECOSA CIA LTDA, debido a que se integrará sistemáticamente y de forma simultánea los procesos que forman parte de la máquina, con el fin de solucionar la alta acumulación de desperdicios de serrín y viruta que se producen en las líneas de producción de la empresa.

Al implementar la metodología del diseño concurrente para diseñar una máquina briquetadora, se logrará obtener un enfoque del valor comercial razonable que se obtendrá a futuro si se desea implementar la máquina, además se cuidaría del medio ambiente al generar una nueva fuente de energía calorífica, la cual permita el reemplazo de la quema de las partículas de serrín y viruta, que al ser incinerados al aire libre, provoca la contaminación del medio ambiente. Además se aportara a la producción de briquetas de biomasa, frenando la deforestación causada por la necesidad continúa de leña, reduciendo la tala innecesaria de bosques forestales (Ajayi, 2013).

El proyecto se encuentra enfocado en cumplir con los objetivos 7 y 11 establecidos en el Plan Nacional del Buen Vivir, vigente para los años 2013-2017, en cuanto a: "garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global" y al objetivo de "asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica", fortaleciendo a las fábricas madereras con una transformación estratégica.

Lo que se desea lograr con este proyecto es cubrir la necesidad de los propietarios de empresas de madera que buscan una solución para todos los remanentes de madera producidos en sus fábricas, para lo cual se propone el diseño de una máquina briquetadora con tecnología nacional que fortalezca la producción de fuentes de energías renovables y que estén acorde a los mecanismos autómatas que permitan la flexibilidad de producción, reducción de costos y tiempos de producción para mejorar la calidad de las briquetas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar una máquina briquetadora mediante la metodología integradora de la ingeniería concurrente para la producción de briquetas de serrín y viruta como fuente energética.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Aplicar diseño concurrente para diseñar un sistema mecatrónico que produzca briquetas de biomasa de serrín y viruta.
- Establecer parámetros de diseño en base a estándares de calidad requeridos.
- Integrar sistemática y simultáneamente las partes del diseño de la máquina y procesos.
- Modelar y simular los sistemas y subsistemas propios de la briquetadora.
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos para proponer un sistema de control automático de fácil uso e implementación.

1.4 Hipótesis.

¿La metodología integradora de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de una máquina briquetadora, permitirá crear un sistema mecatrónico para la producción de briquetas de serrín y viruta?

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Estado del arte.

El diseño de ingeniería es un proceso complejo que implica interacciones entre varias habilidades y disciplinas. Con el diseño tradicional, la propuesta era que el ingeniero mecánico diseñará los elementos mecánicos, luego el ingeniero de control progresara y diseñará el sistema de control. Esto da como resultado lo que se conoce como enfoque secuencial del diseño. Sin embargo, la base del enfoque de la mecatrónica se considera que yace en la inclusión concurrente de las disciplinas de la ingeniería mecánica, electrónica, tecnología de la computación e ingeniería de control en el enfoque de diseño (Bolton, 2013).

Se encuentran algunos trabajos relacionados con la aplicación del diseño mecatrónica, los cuales se puede tomar como ejemplo para el desarrollo del proyecto planteado, entre algunos proyectos importantes se tiene:

En el trabajo realizado por La Ciencia e Ingeniería Neogranadina (2003), denominado "Diseño Mecatrónico, un curso de aplicación de nuevas tecnologías", se relata cómo se desarrolla e implementa un prototipo mecatrónico, apoyado en nuevas tecnologías como lo son el CAD (diseño asistido por computador), el CAM (manufactura asistida por computador), así como la simulación de circuitos electrónicos, la verificación del funcionamiento mediante modelos matemáticos computacionales, la generación de sistemas de control por software mediante lenguajes avanzados de programación y la utilización de sistemas de consultas como Internet o las bibliotecas virtuales para recibir apoyo bibliográfico.

Morales (2007), en su artículo habla sobre el "Diseño Mecatrónico de un Robot Cartesiano enfocado al corte de Piezas de Calzado", en donde se presenta el avance del diseño mecatrónico de un robot especializado en efectuar cortes de piezas de calzado sobre piel. Estos cortes se efectúan por medio de una navaja montada en un sistema rotacional (φ), movido por un mecanismo prismático (x, y, z) configurando un robot cartesiano de cuatro grados de libertad.

Por su parte, Hernández (2011), realizó un proyecto acerca del "Diseño Mecatrónico usando optimización basada en bacterias", donde se resolvió el problema de optimización derivado de un sistema de Transmisión de Variación Continua con el Algoritmo de Optimización del Forrajeo de Bacterias Modificado. Debido a que el problema de optimización es multi-objetivo con restricciones, el algoritmo fue adaptado en sus operadores propios, también se utilizan mecanismos para el criterio de selección de soluciones, manejo de restricciones, uso de elitismo y manejo de diversidad.

2.2 Ingeniería concurrente.

La ingeniería concurrente (IC) prácticamente cuenta con una definición por cada uno de los acercamientos teóricos o prácticos que sobre ella se han realizado; existe una lista de nombres con los cuales se designan principios o procesos básicos de la IC tales como ingeniería simultánea, ingeniería cooperativa, diseño integrado de procesos y productos, diseño concurrente, etc.

2.2.1 Concepto.

En la actualidad existe un amplio consenso en afirmar que la ingeniería concurrente (paralela o simultánea) es la forma más eficiente de hacer ingeniería en un entorno cada vez más competitivo. Puede definirse la ingeniería concurrente como el conjunto de técnicas destinadas a acortar el tiempo de desarrollo de los proyectos, incorporando la voz del cliente y garantizando al mismo tiempo la calidad del producto durante todo su ciclo de vida, desde el diseño hasta el reciclaje, mediante la realización simultánea de actividades y el trabajo en equipos multidisciplinarios (Masi, 2002, pp.1-9).

Aunque las prácticas que son cobijadas por la IC son cada vez más frecuentes desde 1980, la primera definición dada en 1986 por el Instituto para Análisis de Sistemas de Defensa de los EE. UU fue: la Ingeniería Concurrente “es una aproximación al diseño concurrente, integrado de productos y a sus procesos relacionados, incluyendo fabricación y soporte. Esta aproximación pretende que quienes desarrollan el producto consideren todos los elementos del ciclo de vida del producto desde su concepción hasta su desaparición, incluyendo calidad, costo, tiempo y necesidades del usuario”.

Otra definición dice que: La ingeniería concurrente consiste en la coordinación e integración de las distintas actividades de desarrollo que surgen en una empresa al subdividir los complejos problemas de los procesos de diseño y de fabricación de un nuevo producto (Calderón, 2006).

En la ingeniería concurrente cada nuevo proyecto se trabaja con técnicas disciplinadas y en conjunto con un grupo multidisciplinario de tiempo completo. Éste equipo de trabajo debe estar formado por ingenieros de diseño, ingenieros de fabricación, personal de mercadotecnia, de compras, finanzas y proveedores del equipo de fabricación y componentes a utilizar (Figura 1-2).

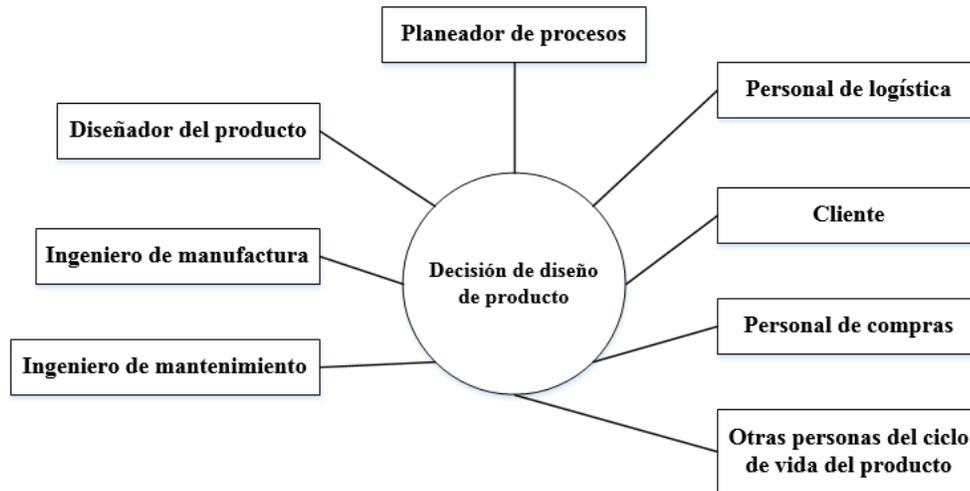


Figura 1-2: Equipo multidisciplinario de IC.

Fuente: (Calderón Arturo, 2006, p.1).

La importancia de estos grupos de trabajo reside en que, desde el inicio del proyecto todos los miembros del grupo tienen la misma información sobre el producto. Por lo tanto los ingenieros de fabricación pueden comenzar a planear las instalaciones de fabricación con el mismo concepto con que los ingenieros de diseño están planificando el objeto que se va a producir, y así sucesivamente con los demás miembros del grupo.

2.2.2 Fundamentos de la ingeniería concurrente.

A través de los años, un importante número de teóricos han clasificado en categorías algunas de las cualidades más destacables de esta disciplina, las mismas que reciben el nombre de “fundamentos” y se clasifican en tres grandes tipos:

2.2.3 *Principios básicos de ingeniería concurrente.*

Prasad (1996) presenta como los principios básicos de la Ingeniería Concurrente (IC), las características generales que de modo transversal imprimen su sello en cada uno de los procesos de la organización. En otras palabras, son los conceptos-clave que permiten identificar un proceso dentro de la ingeniería concurrente.

- Trabajo estructurado.
- Aprovechamiento del conocimiento común entre los miembros de cada equipo y entre los equipos de trabajo.
- Estimulación del trabajo en equipo.
- Toma temprana de decisiones de fabricación.
- Descubrimiento temprano de problemas.
- Conservación del propósito por parte de todo el personal vinculado a los procesos.

2.2.4 *Componentes de la Ingeniería Concurrente.*

Los componentes de la ingeniería concurrente, son las cualidades distintivas por las cuales se puede reconocer que este o aquel proceso está fundamentado y está siendo desarrollado a partir de la ingeniería concurrente. (Prasad, 1996) presenta en su trabajo tres componentes centrales de la IC:

- Inicio multidisciplinario, también llamado equipo de desarrollo de producto: La IC se estructura alrededor de equipos multifuncionales que aportan el conocimiento especializado necesario para el diseño y desarrollo del producto.
- Sinergia y trabajo en equipo: La sinergia es la combinación de las capacidades de un equipo para producir resultados mayores que los del esfuerzo de cualquier miembro aislado del equipo, es la piedra angular de cualquier organización que trabaja bajo un enfoque de ingeniería concurrente. Las siete cualidades que deben estar presentes en un equipo de IC son: empoderamiento, adecuada selección de personal, organización, liderazgo, autolimitación, autonomía y memoria técnica o know-how.
- Participación global: Un proceso de ingeniería concurrente no es tal a menos que involucre todas las partes que son responsables por cada instancia del proceso, sin importar qué vínculos

administrativos tengan. Para que la organización funcione como una unidad y para que el producto esté completo, cada participante tiene que saber qué esperan de él los demás.

2.2.5 *Mecanismos de la Ingeniería Concurrente.*

En el trabajo realizado por la Research & innovation, s.I (2002), se expone sobre los mecanismos en los que se sustenta la IC, estos mecanismos básicos confieren especiales características por lo que es importante señalar que cada uno de estos tres mecanismos deben estar integrados de forma adecuada con los otros dos para asegurar el éxito.

2.2.5.1 *Paralelismo:*

De aquí nace que en algunos sectores a la IC se la conoce como ingeniería paralela o simultánea. El paralelismo reduce el tiempo global mediante la realización simultánea de cuantas tareas sea posible. Incrementar la efectividad mediante la realización de tareas en paralelo es una idea compartida con otros campos tecnológicos. Por medio del paralelismo se racionaliza la descomposición de trabajo, evitando las pérdidas de tiempo inherentes a un enfoque secuencial.

2.2.5.2 *Integración:*

Uno de los grandes problemas del enfoque clásico de la ingeniería secuencial es sin duda la división del trabajo en compartimientos estancos y deficientes. El paralelismo obliga a la integración entre departamentos, especialmente entre ingeniería y producción, lo que reduce el impacto de división de trabajo en áreas de especialización y gestión. Solo mediante la integración es posible tomar en consideración todo el conocimiento de las disciplinas relevantes en cada fase del desarrollo del producto, evitando la repetición innecesaria de tareas por diferentes criterios o propuestas.

2.2.5.3 *Presciencia:*

Los mecanismos de paralelismo e integración presentan substanciales ventajas conceptuales respecto a un enfoque clásico de la ingeniería de tipo secuencial y definen por si solos las características básicas de un entorno de ingeniería concurrente. No obstante su aplicación supone una serie de dificultades notables entre las que se destaca un aumento de la ambigüedad y de la incertidumbre en todas las fases del desarrollo, siendo necesario tomar decisiones cada vez más tempranas, y en base

a información incompleta, situación que por otra parte debe hacerse compatible con un aumento de calidad y fiabilidad del producto final.

En consecuencia debe añadirse un tercer mecanismo destinado a disminuir el impacto de esta aparente contradicción. Dicho mecanismo es la presciencia, o conjunto de técnicas cuya misión es avanzar el curso de los hechos. Solo a través de ellas es posible estar preparados frente a posibles eventualidades mediante la exploración temprana de las actividades futuras, tomando así las decisiones adecuadas cuanto antes y al mínimo coste. La presciencia es la clave para alcanzar el objetivo de conseguir el resultado correcto al primer intento, evitando la repetición innecesaria de tareas y la toma de decisiones erróneas.

2.2.6 *Técnicas y herramientas de la ingeniería concurrente*

La implementación práctica de la IC supone el uso de toda una serie de técnicas y herramientas especialmente adaptadas para ella y sin las cuales no sería posible alcanzar los niveles de eficacia exigidos. A continuación se enuncian y describen dichas técnicas:

2.2.6.1 *Técnicas*

Se describe una serie de técnicas con una incidencia directa sobre la calidad de diseño. La calidad de diseño es un factor clave del éxito puesto que limita la máxima calidad alcanzable por un producto (Research & innovation, s.I, 2002).

- *Brainstorming*

Es una técnica creativa para la búsqueda de soluciones (o causas) a un problema dado. La principal característica del método es la prohibición de efectuar críticas a las ideas expuestas por los miembros del grupo de trabajo a fin de evitar la inhibición de cualquiera de ellos. Dichas ideas son después agrupadas por categorías y priorizadas por votación en orden a generar un plan de actuación.

- *Diagrama Causa – Efecto*

El diagrama causa-efecto de Ishikawa consiste en la representación gráfica, ordenada y lógica, de la cadena de causas que conducen a un determinado efecto. Puede aplicarse como paso intermedio en

la aplicación de otras técnicas como AMFE, o directamente para buscar la solución a un determinado problema.

- *Despliegue de la Función de Calidad (QFD)*

El QFD es una técnica sistemática para relacionar los requisitos demandados por el mercado (voz del cliente) con las características técnicas del producto a través de cada etapa de su creación, con la participación de todas las funciones de la empresa que intervienen en el mismo. La herramienta básica del QFD es la construcción de matrices de interrelación a todos los niveles.

El despliegue de la función de calidad (QFD, Quality Function Deployment) es una técnica que tiene en cuenta el papel del cliente para el éxito del producto y la necesidad de utilizar equipos multidisciplinares para su diseño (Akao, 1990).

- *Análisis del Valor*

Las técnicas de análisis del valor están orientadas también a la satisfacción de las necesidades del cliente pero poniendo el énfasis en la optimización simultánea de los costes y los procesos. Para ello se separan los aspectos que generan “valor” de aquellos que solo generan coste, priorizando a los primeros sobre los segundos.

El valor es la suma de la impresión inicial del usuario ante el producto y la satisfacción durante el uso. El coste integra todas las componentes desde el desarrollo inicial hasta el final de la vida útil.

- *Análisis de modos de fallo y sus efectos (AMFE)*

El AMFE es una técnica sistemática para asegurar que todos los modos de fallo que puede presentar un producto o un proceso han sido analizados y prevenidos. Para ello se asocia cada modo de fallo con sus causas y los efectos que producen. A partir de dicho análisis se establecen prioridades así como un plan de actuación encaminado a eliminar o minimizar las causas más importantes de los fallos.

- *Diseño de experimentos (DOE).*

Las técnicas de diseño de experimentos están encaminadas a la planificación estadística de los ensayos a fin de maximizar la información extraída (efecto de la variación de los parámetros sobre el comportamiento de los parámetros sobre el comportamiento del sistema) minimizando el número de los mismos.

- *Diseño para la manufactura y el ensamblaje (DFMA).*

Las técnicas DFMA intentan asegurar una fabricación más fácil a través de la simplificación de todas las operaciones. La idea básica es minimizar el número de piezas y conseguir que estas se puedan montar de forma directa y sin errores.

(Riba, 2006), presenta en su trabajo metodologías de ingeniería concurrente una breve introducción de las diferentes metodologías o técnicas de la IC. En su trabajo habla de cómo las Técnicas formales de Boothroyd y Dewhurst comenzaron a desarrollarse en los años 1970 y se establecieron como herramientas comerciales en los años 1980.

Finalmente, los paquetes de modelación de Ingeniería Asistida por computadora empezaron a utilizarse desde mediados de la década de los años 1980. Esta transformación se puede observar en la Figura 2-2.

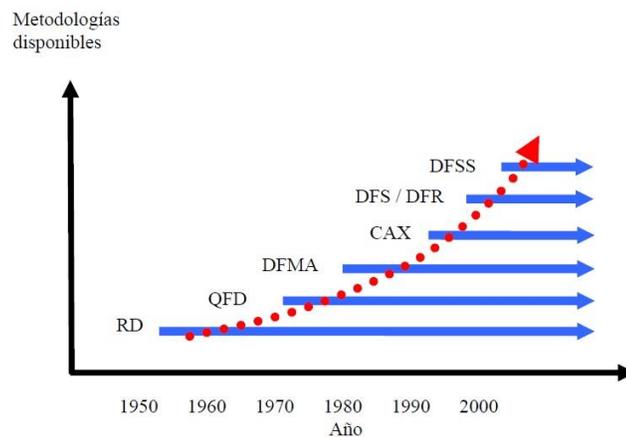


Figura 2-2: Metodologías y herramientas de la IC.

Fuente: (Riba Carles, 2006, p.82).

2.2.6.2 Herramientas.

La aplicación de la ingeniería concurrente exige también la utilización de una serie de herramientas basadas en la informática y las tecnologías de la información (Riba, 2006). Sin dichas herramientas es prácticamente imposible conseguir los niveles de integración, comunicación y predicción exigidos por el enfoque concurrente, esto se muestra en la Figura 2-3.

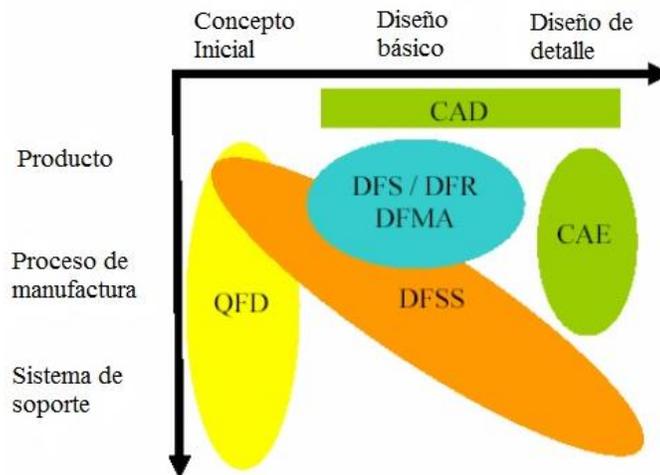


Figura 3-2: Herramientas utilizadas en la IC.

Fuente: (Riba Carles, 2006, p.82)

En el trabajo realizado por Riba (2006), se muestra algunas herramientas de la IC:

- *Diseño y fabricación asistidas (CAD/CAM)*

El diseño asistido por ordenador (CAD) es indispensable en un entorno de ingeniería concurrente, no solo por cuestiones de eficacia operativa sino también para garantizar un intercambio ágil y sin errores así como una actualización constante de la información entre los diversos grupos de trabajo implicados en el proyecto (especialmente entre las ingenierías de producto y fabricación).

Con una adecuada combinación de hardware y software pueden conseguirse drásticas reducciones en los plazos de ejecución, especialmente cuando se integra la información de diseño con la generación de programas de mecanizado (CAM).

- *Simulación numérica (CAE)*

La necesidad de la previsión, forma ya parte del enfoque ingenieril clásico en el que el desarrollo experimental juega, desde hace muchos años, un papel fundamental en orden a evitar problemas durante el uso. En este sentido la experimentación sobre prototipos físicos constituye una versión básica de la presciencia, que distingue al producto industrial del producto artesanal, cuya evolución se produce mediante un esquema de prueba, error y selección puramente darwiniano.

Sin embargo el actual nivel de exigencia en cuanto a disminución de costes y tiempos de desarrollo dificulta mucho la utilización de la experimentación como única herramienta. Afortunadamente los avances realizados en el mundo de la informática y de la simulación numérica de los fenómenos físicos han permitido incorporar al proceso un bucle rápido de valoración y optimización basado en las herramientas de simulación.

Esta problemática se agudiza aún más en un entorno de ingeniería concurrente, donde la simulación es una herramienta indispensable para “saltar” sobre actividades costosas en tiempo y dinero, y verificar así si la solución escogida es la adecuada. La simulación reduce el riesgo en la toma de decisiones tempranas y extiende el campo de exploración de soluciones posibles facilitando los procesos de optimización.

Gracias a la simulación es hoy posible estimar sobre prototipos virtuales cual será el comportamiento físico futuro de un producto, antes de que exista ningún prototipo físico. Sobre dichos prototipos virtuales se efectúan y valoran las modificaciones que se estimen necesarias hasta estar razonablemente seguros de que el primer producto fabricado corresponderá a una versión casi definitiva. Por tanto, diseñar con base a la utilización de prototipos virtuales es un hecho que debe asumirse como necesario para no correr el riesgo de quedar desfasados en un mercado cada vez más exigente y competitivo.

- *Ensayo (CAT)*

Al tratarse de una tecnología relativamente reciente, los departamentos encargados de realizar trabajos de simulación suelen estar desligados de los departamentos responsables de la realización de ensayos, creándose dos “culturas” diferentes que dificultan la integración. Esta es una situación claramente a evitar puesto que la mayor efectividad conjunta de las herramientas de ensayo y

simulación solo se alcanza aprovechando sus sinergias y a través de un proceso de adaptación mutua en la que la experimentación ya no juega el mismo papel que anteriormente.

Es un hecho que los modelos teóricos implementados en los sistemas de simulación son cada vez más complejos. Como consecuencia de ello se precisan características físicas de los materiales que en ocasiones no están disponibles, o bien no han sido determinadas al nivel deseable para la simulación. Esto hace necesaria la realización de ensayos destinados a caracterizar los diversos tipos de comportamiento físico, en los términos necesarios para la simulación numérica.

Cuantificar el “error”, entendido no en un sentido absoluto sino como la discrepancia entre la solución numérica frente a la realidad física, es una tarea difícil ya que los resultados experimentales también están sujetos a error y por tanto no pueden tomarse como una referencia absoluta. A pesar de ello el esfuerzo de establecer la correlación entre simulación numérica y ensayo constituye siempre una gran ayuda, tanto para la depuración del proceso de simulación numérica en si como para la del propio proceso de experimentación.

Otra cuestión importante a considerar es el hecho de que hay ciertos aspectos de los problemas reales que por su naturaleza no puedan ser simulados, ya que por ello resulte antieconómico frente al ensayo, ya porque la física del problema no sea suficientemente conocida como para establecer un modelo teórico fiable. Aquí vuelve a destacarse la experimentación como único recurso viable para la evaluación de ciertas problemáticas.

La experimentación juega también un papel fundamental en la determinación de unas condiciones de carga y enlace adecuadas para la posterior realización de simulaciones numéricas efectivas. El mejor modelo numérico resulta inoperante si tal información no está disponible al nivel de exactitud requerido.

Como puede deducirse de lo dicho, en un entorno de ingeniería concurrente existe un importante nivel de complementariedad entre los enfoques numérico y experimental que debe ser potenciado mediante adecuada integración de ambos. Es indispensable validar los resultados obtenidos con los modelos numéricos en función del propósito perseguido en la simulación, al tiempo que es necesario verificar que se ha obtenido un nivel de correlación suficiente entre simulación y ensayo, especialmente la primera vez que se a determinada tipología de problema.

Otro campo muy importante de aplicación de la simulación numérica con relación a la experimentación consiste en su utilización en el planteamiento, así como en el análisis de resultados de ensayos complejos. En estos casos la simulación ofrece un marco teórico de trabajo de gran utilidad al estar basado en la física del problema, forzar la valoración de los distintos parámetros que intervienen en el fenómeno, y permitir el análisis de la sensibilidad del resultado frente a variaciones en los mismos.

2.2.7 *Ciclo de vida de un producto (CVP)*

De acuerdo a Riba y Molina (2006), el ciclo de vida de un producto, es el conjunto de etapas que recorre un producto individual (o conjunto interrelacionado de componentes físicos o intangibles) destinado a satisfacer una necesidad desde que éste es creado hasta su fin de vida.

Otra definición encontrada dice que es el conjunto de etapas que recorre un proyecto, entendido como una actividad de negocio, desde que éste se inicia hasta que finaliza o es abandonado. Las etapas del ciclo de vida de un proyecto se recorren fundamentalmente en el seno de una organización e incluyen la evolución de la actividad o negocio a lo largo del tiempo.

Sin embargo existe otro esquema del CVP con 6 etapas planteadas por [Riba, 2002]:

Decisión y definición: En esta etapa se toma la decisión de crear el producto y se da a la tarea de definirlo por medio de sus especificaciones.

Diseño y desarrollo: Engloba las actividades que tienen por objeto a la concepción de un producto según sus especificaciones y definirlo según las características que permitan su fabricación. También las acciones destinadas a llevar el producto al mercado.

Fabricación: Conjunto de actividades destinadas a la realización efectiva del producto, cumpliendo condiciones de calidad, precio y tiempo.

Distribución y comercialización: Etapa del ciclo de vida del producto que, a pesar de no aumentar su valor, tiene gran importancia para hacer efectivo su uso. Incluye las actividades de transporte y la distribución, así como de comercialización.

Utilización y mantenimiento: Es el ejercicio de la función para la cual fue diseñado el producto. Cuando el producto falla la actividad de mantenimiento se encarga de mantener o reponer este uso.

Fin de vida: Es la decisión del fin de vida útil del proyecto y su eliminación que puede presentar varias formas de consecuencias económicas y medioambientales muy distintas.

2.2.7.1 *Ciclo de vida y comunicación sobre la pared.*

El sistema tradicional de organización por funciones se orienta a la toma jerárquica de decisiones y a la búsqueda de objetivos departamentales. Esto conlleva a que las organizaciones orienten sus procesos de una manera secuencial tanto para su ejecución como para su planeación. Es común encontrar que los proyectos avancen en forma lineal y la responsabilidad pase por diferentes departamentos sin coordinación efectiva. La dinámica del ciclo de vida tanto para el producto como para los proyectos se ve afectada por este enfoque secuencial (Riva & Molina, 2006).

Esta forma de proceder es lo que se conoce como "comunicación sobre la pared" o "salto del muro", donde la actividad en cada etapa del ciclo de vida se realiza sin tomar en consideración las necesidades de las restantes.

Con este enfoque, el proceso se desarrolla de forma secuencial, de tal manera que cada etapa no se inicia hasta que concluye la anterior. Esto trae consecuencias no deseables, donde los re-procesos abundan generando desperdicios de materiales y principalmente de tiempo que más tarde se traducen en costos impidiendo el cumplimiento de planes para proyectos tanto específicos como de toda la organización (Figura 2-4).

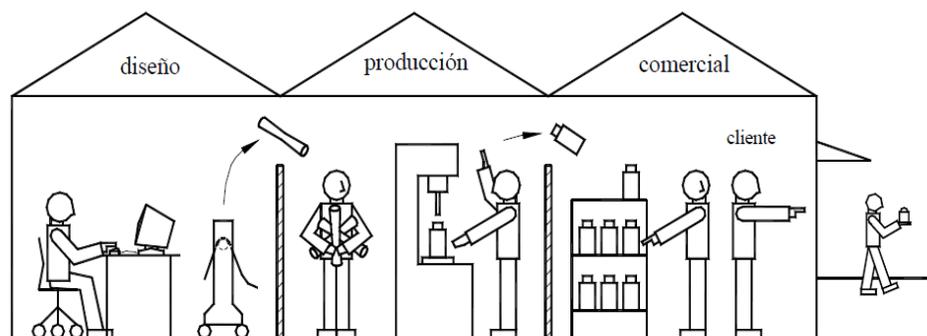


Figura 4-2: Comunicación sobre la pared o salto de muro.

Fuente: (Riba y Molina, 2006, p.19).

La Ingeniería Concurrente se basa en el diseño para el ciclo de vida, alternativa al enfoque clásico secuencial.

2.2.8 *Diseño mecatrónico.*

El diseño de un producto es un proceso integral y un esfuerzo combinado de especialistas de diferentes campos, que debe concluir con la obtención de nuevos productos. Este proceso se desarrolla, fundamentalmente, entre dos momentos: una idea que emana para satisfacer una necesidad detectada (que se deberá especificar en términos de requerimientos funcionales expresados en términos ingenieriles), y la materialización física de la idea, un producto, máquina, etc. (Serrano , Bruscas , & Romero, 2000).

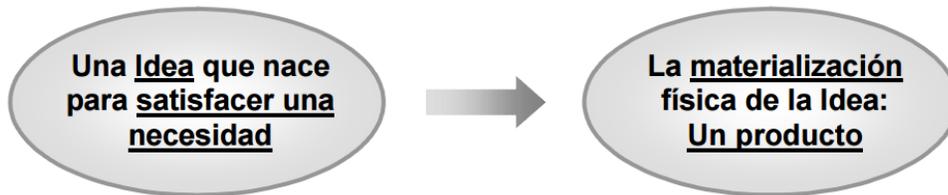


Figura 5-2: Aspectos básicos de la ingeniería.

Fuente: ((Serrano , Bruscas , & Romero, 2000, p.107).

La Ingeniería Concurrente (IC) proporciona, precisamente, un enfoque de trabajo adecuado para abordar el diseño de productos bajo esta perspectiva global. Para ello dispone de múltiples herramientas que permiten considerar simultáneamente, y desde las primeras etapas del proceso de diseño, todos los aspectos y restricciones del producto, lo cual facilita el análisis, la evaluación y la síntesis en una orientación determinada designada bajo el término de “diseño para...”, como, por ejemplo, diseño para fabricación, para montaje, para inspección, para reciclaje, para mantenimiento, para fiabilidad, para apariencia, etc.

2.2.8.1 *Conceptos.*

A continuación, se presentan algunos conceptos que permiten definir el diseño mecatrónico, según el estudio de varios autores:

El diseño mecatrónico ha sido analizado como parte de un sistema mecatrónico, para definirlo como:

En el diseño tradicional de un sistema electromecánico, los componentes mecánicos y eléctricos están seleccionados por separado y posteriormente emplea otros componentes, electrónica (hardware) y programación (software). Por el contrario, en el enfoque de mecatrónica, el sistema electromecánico todo se trata al mismo tiempo bajo un contexto de integración donde un equipo de ingenieros mecatrónicos interactúa de manera multidisciplinaria con otros profesionales (Reyes, Cid y Vargas, 2013, p.16)

Por su parte, Alciatore, D. & Histan, M (2007), habla acerca de que el término mecatrónica se usa para denotar un campo interdisciplinario de la ingeniería en rápida evolución, que trata con el diseño de productos cuya función se apoya en la integración de componentes mecánicos y electrónicos coordinados por una arquitectura de control.

Estos autores consideran que no es fácil encasillar el diseño de sistemas mecatrónicos en un campo tradicional de la ingeniería, porque tales diseños hacen uso del conocimiento de muchos campos. El diseñador de sistemas mecatrónicos debe ser un generalizador, dispuesto a encontrar y aplicar el conocimiento obtenido de un amplio rango de fuentes.

Uno de los referentes más importantes respecto al "diseño mecatrónico" es William Bolton, quien define al concepto de la siguiente manera: "Un sistema mecatrónico no es solo la unión de los sistemas electrónico y mecánico y es más que solo un sistema de control; es una integración completa de todos ellos en la cual existe un enfoque concurrente al diseño. La integración a través de las fronteras tradicionales de la ingeniería mecánica, la ingeniería eléctrica, la electrónica y la ingeniería de control debe ocurrir en los primeros pasos del proceso de diseño si se desarrollan sistemas más baratos, confiables y flexibles (p.3)".

Finalmente, Mosvel (2008), define al diseño mecatrónico como una "metodología utilizada para el diseño óptimo de productos electromecánicos inteligentes".

2.2.8.2 *Proceso de Diseño.*

Según explica Bolton W. (2013), el proceso de diseño para cualquier sistema puede considerarse como el proceso que involucra las siguientes etapas:

- *La necesidad.*

El proceso de diseño comienza con una necesidad, quizá del consumidor o cliente. Esto se puede detectar en la investigación de mercado que se lleva a cabo para establecer las necesidades de clientes potenciales.

- *Análisis de problema.*

El primer paso en el desarrollo de un diseño es investigar la naturaleza verdadera del problema, por ejemplo, cuando éste se analiza. Ésta es una etapa importante en cuanto a que si el problema no se define con exactitud, puede ocasionar pérdida de tiempo en los diseños y no se satisfará la necesidad.

- *Preparación de una especificación.*

Si se sigue el análisis, se puede preparar la especificación de los requerimientos. Esto planteara el problema, cualquier restricción sujeta a la solución, y el criterio a aplicar para juzgar la calidad del diseño. De esta manera puede haber una exposición de volumen, dimensiones, tipos y rangos de movimientos requeridos, precisión de requerimientos de entrada y salida de elementos, interfaces, requerimientos de potencia, entorno operativo, estándares y códigos de practica relevantes, etcétera.

- *Generación de soluciones posibles.*

A esto se lo califica por lo general como la etapa conceptual. Los esbozos de soluciones se preparan, mismos que funcionan con los detalles suficientes que indican los medios para obtener cada una de las funciones requeridas, por ejemplo, tamaños aproximados y muestras de materiales y costos. También significa investigar lo que se ha hecho anteriormente ante problemas similares; no tiene sentido reinventar la rueda.

- *Selección de una solución apropiada.*

Las diversas soluciones se evalúan y la más apropiada es la que se selecciona. La evaluación a menudo incluye la representación de un sistema mediante un modelo para luego llevar a cabo una simulación con el objetivo de establecer cómo puede reaccionar a las entradas.

- *Producción de un diseño detallado.*

El detalle de un diseño seleccionado debe funcionar ahora, este puede requerir la producción de prototipos o maquetas de tamaño natural para determinar los detalles óptimos de un diseño.

- *Producción de dibujos de trabajo.*

El diseño seleccionado se traduce entonces en dibujos de trabajo, diagramas de circuitos, etc., de manera que se pueda elaborar el artículo.

2.3 Briquetas.

2.3.1 Conceptos.

Según el diccionario de La Real Academia de la Lengua Española, la briqueta es un conglomerado de carbón u otra materia en forma de ladrillo (RAE, 2001).

El término "briqueta" es un término confuso, puesto que la briqueta puede estar fabricada con uno o más materiales compactados (desechos de biomasa). La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal, biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas (García & Fernández, 1997).

Las briquetas son un biocombustible de origen lignocelulósico (madera) en la mayor parte de los casos, formado por la compactación de biomasa. Es un producto 100% ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida.

Generalmente, las briquetas (Figura 6-2) están hechas con materia residual, como madera, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cascara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, etc. (Olivares, 2011).

La briqueta más utilizada es la fabricada a base de aserrín, también conocida como leñeta, no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como adhesivo natural (Olivares, 2011).



Figura 6-2: Briquetas

Fuente: (Olivares, 2011).

Las briquetas son 100% naturales, algunas se hacen de desperdicios forestales tales como el aserrín, la viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, etc., estos mismos desperdicios son molidos, secados a un 10% de humedad y luego se compactan por medios mecánicos (Olivares, 2011).

Las briquetas de aserrín poseen mayor poder calorífico que la leña tradicional, encienden más rápido, no desprenden humos ni olores y su uso evita la tala indiscriminada de árboles (Olivares, 2011), algarrobo principalmente. Por lo tanto, las briquetas son un perfecto sustituyente de la leña con claras ventajas físico/químicas/energéticas, por sus formas y características heredadas de la materia prima de la cual está constituida.

2.3.2 *Forma, tamaño y color.*

La forma de las briquetas puede ser muy variable, según se observa en la Figura N° 2,7 y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica. También, una forma común de las briquetas es la de sección octogonal con un hueco redondo en el centro, con esta forma de briqueta se consigue una ignición más rápida; esto puede resultar ventajoso o perjudicial (dependiendo del objetivo buscado).

Otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas lo que impide la desintegración con los golpes. Este tipo de briqueta arde más despacio pero se almacena mucho mejor

pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco (Martin, 1994).

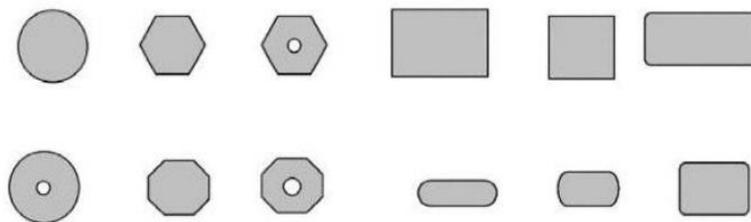


Figura 7-2: Secciones de briquetas.

Fuente: (Martin, 1994).

El tamaño de las briquetas varía dependiendo del uso que se le dará y la máquina briquetadora que se usará para fabricarlas. La máquina define el grosor (ancho de la briqueta mientras que el productor definirá el largo de la briqueta. Para industria el largo varía entre 30 y 100 cm, para productores de uso menor el largo estará entre 10 a 50 cm y para el sector familias el largo será entre 2 a 6 cm. Existe cierta relación entre la longitud de la briqueta y su diámetro como se observa en la Tabla.1-2.

Tabla 1-2: Relaciones longitud/diámetro de la briqueta.

Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Relación longitud/diámetro
32	8.5	3,765
32.5	9	3,611
32.5	7.5	4,333
32	7.5	4,266

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Martin Marcos. Los biocombustibles (2a.ed).
España: Mundi-Prensa, 2008.

2.3.3 *Densidad*

Otra de las características de la briqueta es que presenta mayor densidad que otros combustibles elaborados a base de residuos maderables lo cual facilita su transporte, manipulación y almacenamiento; resultando una ventaja al comparar las briquetas con otros combustibles forestales.

El objetivo final del proceso de briquetado es obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales. A mayor densidad la briqueta ocupa menos volumen (a igualdad de peso) que la leña por lo tanto su manipulación será más sencilla.

Los factores que influyen en la densidad de la briqueta son de dos tipos (Martin, 1994):

1. La materia prima empleada. Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final. Si la materia prima es madera debemos indicar que por lo general las maderas de las frondosas (encina, robles, haya, castaño, entre otros) son más densas que las maderas de las coníferas (pinos, abetos, cedros).
2. La presión ejercida por la prensa en el proceso de fabricación. Las presiones de compactación son variables, dependiendo de la maquinaria empleada, a mayor presión, mayor densidad lograda en el producto final.

Para determinar la densidad de la briqueta deben realizarse ensayos de laboratorio. Una forma empírica para calcular el valor aproximado de la densidad de la briqueta basta con evaluar la relación de su masa (en una balanza) y su volumen (cálculos geométricos).

2.3.4 Humedad

La humedad de la briqueta es una característica que está en función del proceso de secado que sigue el aserrín. Este proceso de secado puede ser al ambiente o mediante horno. Para el proceso de briquetado que sufre la materia prima se suelen utilizar partículas con una humedad menor del 12%, además, este proceso de prensado (briquetado) quema un mínimo de humedad de las partículas; al final la humedad de la briqueta resulta ser de 8 - 10% a la salida de la prensa.

Posteriormente puede ocurrir que:

- Si, las briquetas son envasadas en bolsas plásticas, ya no absorben humedad del ambiente y su humedad sólo aumenta levemente debido al aire encerrado en la bolsa plástica.
- Si, las briquetas están al aire libre éstas pueden absorber humedad del ambiente debido a que la madera es higroscópica. Sin embargo durante el proceso de briquetado se genera calentamiento en la superficie lateral exterior que produce un baquelizado en la briqueta. Este proceso origina

que en el exterior de la briqueta aparezca una fina “película plástica”, de color más o menos negruzco, que impide la absorción de humedad al interior del producto.

Esta característica es muy importante debido a que el poder calorífico de cualquier biocombustible forestal disminuye al aumentar la humedad del mismo.

2.3.5 *Composición Química*

La composición química elemental de las briquetas condiciona el poder calorífico y dependerá del material utilizado. Si se emplean aditivos, se deberá tener en cuenta la composición química de los mismos (Martin, 1994).

Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) de madera, corteza y aditivos empleados, así como la humedad a la que se manipulan estos productos. Conocidos estos porcentajes puede evaluarse de forma aproximada la composición química de las briquetas (Marcos, 1994).

2.3.6 *Poder calorífico.*

El poder calorífico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles. El poder calorífico depende fundamentalmente de la composición química del combustible (Barahona, 2011).

Para el caso de las briquetas, el poder calorífico está en función del material del cual está compuesto. Suponiendo que la briqueta está compuesta de madera sin aditivos, entonces su poder calorífico será igual al de la madera que la conforma.

2.3.7 *Briquetado.*

Durante el proceso de briquetado se generan mecánicamente elevadas presiones (aproximadamente 200 MPa/cm^2), que provocan un incremento térmico del orden de 100 a 150^0 C , esta temperatura origina la plastificación de la lignina que actúa como elemento aglomerante de las partículas de madera, por lo que no es necesaria la adición de productos aglomerantes (resinas, ceras, etc.). Para

que tenga lugar este proceso de auto aglomeración es necesario la presencia de una cantidad de agua (material termoplástico) comprendida entre el 8 y el 15% B.H.

Para la producción de briquetas existe una gran variedad de máquinas que poseen sistemas de densificación (Figura N°2.8).



Figura 8-2: Prensa de pistón mecánico.

Fuente: (Barahona, 2011, pp.68).

2.4 Máquinas briquetadoras

2.4.1 *Definición.*

De acuerdo a Badiola (1984): “una máquina briquetadora para residuos es una máquina compactadora, destinada a la obtención de briquetas, a base de residuos de madera, como puede ser madera troceada, viruta, serrín, etc.” (p.1).

Por su parte, Contreras (2009) ha analizado la falta de información sobre el concepto de máquinas briquetadoras, por lo que ha tomado como referencia datos existentes en otros países y ha definido su propio concepto de una briquetadora como: "una máquina que transforma los materiales granulados o previamente triturados, en briquetas de alta densidad dando grandes beneficios como (p.4)":

- En el caso de la urea; incrementa la eficiencia y efectividad del uso de la Urea.
- Reduce las pérdidas de nitrógeno y el impacto con el medio ambiente.

- Reducción en el transporte por la reducción de volumen.
- La reducción de coste de manipulación.

Barrera J. (S/A), explica que el proceso de elaboración de briquetas se basa en una máquina briquetadora, la cual es responsable de la industrialización de su producción desde hace varios años en Europa, Estados Unidos, Canadá y algunos países latinoamericanos. Los pasos de transformación involucrados en el proceso productivo comprenden en primer lugar, la preparación de los residuos, a partir de la limpieza de impurezas y acondicionamiento de tamaño con trituradoras y molinos dependiendo de las características de la materia prima a utilizar para luego secarlos en un rango de humedad entre un 10 y 15%, requeridos por la prensa y la calidad esperada del producto, el cual se disgregará si el material usado está demasiado seco o demasiado húmedo.

Después de que el material está preparado, se procede al prensado de la biomasa en la briquetadora, la cual debe estar a 300 °C y ejercer una presión de cerca de 1.200 [kg/cm²] para que la lignina presente en los residuos forestales se licúe favoreciendo la aglomeración. Para ello, en primer lugar, la materia prima es enviada a una tolva que actúa como pulmón, regulando la entrada de aire a la prensa para evitar que la biomasa se atasque.

Luego, con la ayuda de un tornillo de alimentación, la biomasa es descargada a una tasa continua para ingresar a la máquina de prensado, la cual está compuesta por una matriz agujereada y un grupo de rodillos giratorios los cuales aplican presión y calor para aglomerar las partículas del compuesto. La matriz es también la encargada de dar el diámetro al producto, según el modelo de briquetadora. Al salir de la matriz, un instrumento compuesto por cuchillas corta el material resultante según las medidas y la presentación deseada por el fabricante, siendo descargadas y transportadas por un dispositivo que evita que se quiebre.

Finalmente, el producto se deja enfriar para ser debidamente empaquetado en paquetes de 7, 10 ó 15 [kg] para ser comercializado. Las briquetas requieren de un almacenamiento posterior en un seco, dado que la humedad puede dañar el producto.

Es importante destacar que en el proceso de elaboración de briquetas con residuos madereros, el aditivo permitido es el agua, dado que no se puede utilizar ningún aglomerante tóxico que ponga en riesgo la manipulación humana. Sin embargo, cuando las briquetas se fabrican con mezcla de

residuos, pueden utilizarse aglomerantes en proporciones muy pequeñas para mejorar la cohesión de las partículas de biomasa y la generación de energía al momento de la combustión.

2.4.2 Componentes.

La mayoría de los equipos destinados a la fabricación de briquetas de aserrín, incluye salvo pequeñas variaciones los siguientes componentes:

3.2.2.1 Sistema de alimentación de la materia prima.

El alimentador es generalmente un gusano o tornillo sinfín (ver Figura 2.9), que vierte los residuos de la tolva al acondicionador. El ángulo de las aspas del gusano debe estar diseñado para suministrar los residuos de una manera continua y sin fluctuaciones u oleadas al acondicionador.

Es importante que tanto el alimentador como el acondicionador entreguen los residuos uniformemente de otra manera, las oleadas que se podrían generar en el acondicionador causarían capas gruesas en la matriz provocando que los rodillos patinen y se atranque la máquina.

2.4.2.2 Pre-Acondicionador.

Para la producción óptima de pellets, con la finalidad de obtener una buena calidad de los gránulos se requiere un correcto acondicionamiento de los residuos para la granulación y la extrusión.



Figura 9-2: Alimentador y pre-acondicionador de la máquina.

Fuente: (Barrera, 2006)

El proceso de pre-acondicionado se hace necesario cuando la materia prima tiene bajos niveles de humedad que no permiten una correcta compactación, está equipada con sistemas de tuberías para la salida del humo y sistemas de spray que proporcionan vapor de material seco para que obtengan un nivel de humedad apropiado y homogéneo para su posterior densificación.

En caso de que el material tenga los niveles apropiados de humedad, el pre-acondicionador (Figura 10-2), se convierte en un alimentador que transportara el material directamente al proceso de pelletizado.

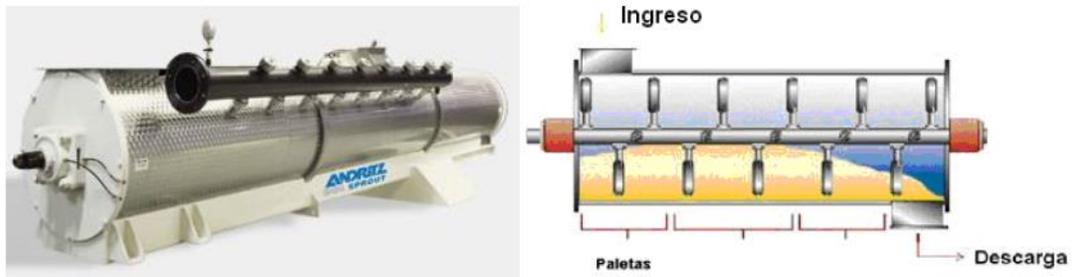


Figura 10-2: Pre-acondicionador.

Fuente: (Barrera, S/A)

2.4.2.3 *Matrices y rodillo de presión.*

Los elementos mecánicos más trascendentales dentro del proceso de densificación son las matrices y los rodillos que serán los encargados de proporcionar la forma y el tamaño final del pellet.

2.4.2.4 *Matrices referenciar.*

En los canales abiertos de la matriz se compactan los residuos de aserrín provenientes del pre-acondicionador, estos residuos son alimentados en caída libre vertical y de manera uniforme. En la Figura 11-2, se puede observar la gráfica de una matriz anular y una matriz plana.

2.4.2.5 Rodillos.

La función del rodillo es proporcionar la fuerza de compresión necesaria entre el aserrín y la matriz. La matriz ofrece la fuerza de resistencia que depende de su espesor (área de trabajo efectivo), coeficiente de fricción y diámetro del orificio.



(a) Anular (b) Plana

Figura 11-2: Matrices: a) anular y b) plana.

Fuente: (Barrera, 2006)

La fuerza de presión aumenta continuamente, a medida que los rodillos van llevando el producto hacia el canal de compactación hasta tal punto que el cilindro de material (tapón) que se encuentra dentro del canal va siendo desplazado poco a poco.

Los rodillos son alimentados con la materia prima de diferentes maneras dependiendo del tipo de maquinaria. Los rodillos empujan la materia prima a través de los agujeros del troquel o matriz, a que posteriormente es cortada por navajas especiales dando a los pellets su forma definitiva. El tamaño de los agujeros de la matriz depende de las dimensiones de los pellets que se quiera producir, siendo estas especificadas al momento de su diseño (Figura 12-2).

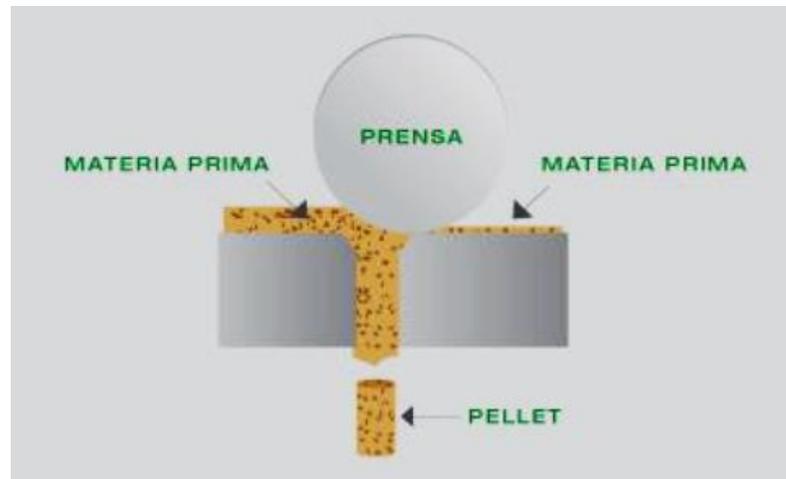


Figura 12-2: Matriz y rodillo de presión.

Fuente: (Barrera, 2006)

2.4.2.6 *Engranaje reductor.*

El sistema reductor de velocidad es necesario para controlar la velocidad del motor principal y ganar potencia para la compresión de material, dependiendo del diseño se pueden utilizar varios tipos de reductores, sin embargo el más utilizado es el reductor sin fin corona por su simplicidad en cuanto a la construcción y mantenimiento.

2.4.2.7 *Carcasa.*

La carcasa o cuerpo de la pelletizadora debe ser lo suficientemente rígida para soportar los esfuerzos y producidos durante el proceso de compactado del material, pero a su vez ser manejable para que permita el mantenimiento respectivo de sus partes internas.

2.4.3 *Tipos de máquinas briquetadoras.*

Dentro de los tipos de máquinas se encuentran las siguientes:

2.4.3.1 *Briquetadoras de Pistón (densificación por impacto).*

La compactación se consigue mediante el golpeteo que producido sobre biomasa mediante un pistón accionado a través de un volante de inercia. Las producciones varían entre los 200 y los 1500 kg/h.

2.4.3.2 *Briquetadoras de tornillo (densificación por extracción).*

Se trata de un sistema basado en la presión ejercida sobre la biomasa por un tornillo sin fin especial (aleaciones de cromo-níquel o carburo de tungsteno), que gira con velocidad variable, haciendo avanzar el producto hasta una cámara que se estrecha progresivamente (forma cónica). Algunos modelos disponen de una camisa térmica (sistemas de mando caliente, para regular la temperatura del proceso y favorecer la plastificación. Con este tipo de maquinaria es posible fabricar briquetas con orificios interiores, lo cual favorece su combustión.

Las producciones suelen oscilar entre los 500 y 2500 kg/h y existen modelos que producen simultáneamente varias hileras de briqueta. Mediante sistemas de extracción es posible obtener briquetas de mayor densidad que con los sistemas por impacto, pudiendo llegar a alcanzarse densidades próximas a los 1300 kg/m^3 , si bien, los consumos energéticos y los costes de mantenimiento de los equipos son notablemente más elevados que en el caso de las briquetas producidas por impacto.

2.4.3.3 *Briquetadoras hidráulicas y neumáticas*

En este tipo de máquinas la presión es producida mediante la acción de varios pistones (1, 2, o 3) accionados mediante sistemas hidráulicos o neumáticos. Se suelen utilizar cuando se manejan residuos de muy mala calidad (algodón, papel, serrín húmedo, etc.) y cuando no se requiere una gran calidad de la briqueta final o tan solo se pretende reducir el espacio ocupado por los residuos. Se trata de equipos de muy bajo consumo y mantenimiento y existen modelos que manejan desde 50 kg/h hasta 5000 kg/h.

2.4.3.4 *Briquetadoras de rodillos.*

Se trata de máquinas dotadas de 2 rodillos cuya superficie tiene una serie de rebajes donde se deposita el producto a compactar que queda densificado al ser sometido a la acción del otro rodillo. Se suelen

utilizar cuando no se requieren elevadas densidades finales (ej.: briquetas de carbón vegetal). La forma de la briqueta depende de las matrices empleadas.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONCURRENTE DE UNA MÁQUINA BRIQUETADORA

El propósito de este capítulo es desarrollar una metodología que incluya las fases de diseño concurrente basado en un nuevo enfoque del diseño para la calidad y aplicarlos al diseño de una máquina briquetadora para elegir la mejor propuesta, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requerimientos establecidos por el usuario, así como también presentar los diferentes cálculos y planos correspondientes de la propuesta ganadora.

3.1 Diseño conceptual del sistema de la máquina briquetadora.

Con este diseño se busca reflejar las necesidades del usuario en cuanto a las especificaciones iniciales requeridas de la máquina. La herramienta que se empleará para el desarrollo del sistema es el Despliegue de la Función de la Calidad (QFD), esta metodología está orientada directamente a la productividad (Barrera, 1995).

3.1.1 *QFD Despliegue de la función de la calidad.*

El QFD implica el desarrollo de 3 fases que se detallan a continuación:

3.1.1.1 *Fase 0. Identificación de los clientes potenciales.*

En esta primera fase se identifica a los clientes internos y externos que tienen relación directa con el diseño de la máquina. Se considera a los departamentos de diseño, ventas, mantenimiento y producción como supuestos, con el fin de que el diseño incluya todo el ciclo de vida del producto. En la Tabla N°3.1, se identifica a los clientes internos y externos que se relacionan con el diseño de la máquina.

Tabla 1-3: Identificación de clientes.

Clientes Internos	Clientes Externos
Departamento de diseño	Pequeñas y medianas industrias de madera
Departamento de ventas	Fábricas dedicadas a la producción de muebles en madera.
Departamento de producción	Productores de briquetas
Departamento de calidad	

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

3.1.1.2 *Fase 1. Determinación de las expectativas del cliente.*

Se determinó las necesidades del usuario y se clasifico de acuerdo al tipo de requerimiento que tenga la más alta prioridad, estos requerimientos fueron clasificados en:

1. Funcionales,
2. Estéticos,
3. De costos y/o de fabricación y montaje.

3.1.1.3 *Fase 2. Definición del mecanismo.*

Para la definición del mecanismo se debe considerar los siguientes puntos:

- a. Las especificaciones requeridas y deseadas, propuestas por el cliente y el ingeniero diseñador.
- b. Los parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.

a. Especificaciones requeridas y deseadas.

Se procede a la construcción de la Matriz de la Casa de la Calidad (Anexo A), esta matriz ayuda a establecer los parámetros de diseño que se deben controlar y medir para cumplir con las necesidades del usuario.

Una vez concluida la matriz, se establece las necesidades primordiales de los usuarios, las cuales se muestra en la Tabla N°3.2. Se determina entonces, que para el usuario los requerimientos esenciales que debe cumplir la máquina son:

Tabla 2-3: Importancia de las necesidades del cliente.

Necesidad del cliente	Peso solicitado
Fácil implementación	13,69%
Fácil manejo y operación	11,41%
Rapidez en el proceso	10,27%
Bajo consumo energético	8,76%
Reducción de la mano de obra	8,76%

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

La relación entre las necesidades del cliente y los parámetros de diseño proporciona el enfoque del proyecto, esto permite crear una máquina que satisfaga los requerimientos del usuario. En el caso de la máquina briquetadora, los criterios planteados por la voz del ingeniero se detallan en la Tabla N°3.3.

Tabla 3-3: Importancia de la relación necesidades de los clientes vs parámetros de diseño.

Parámetros de Diseño	Relación necesidades del cliente vs. Parámetros de diseño
Automatización de procesos	13,4%
Diseño y estética	10,7%
Tablero de mando y control	10,6%
Fuerza de compresión	10,4%
Número de partes y piezas principales	10,3%

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Tabla 4-3: Especificaciones para el diseño.

INSTITUCIÓN		PRODUCTO:		
ESCUELA	SUPERIOR	MÀQUINA	FECHA INICIAL: 23/07/2016	
POLITÉCNICA	DEL	BRIQUETADORA		
CHIMBORAZO			ULTIMA REVISIÓN: 09/08/2016	
DISEÑADOR				
Verónica Gallo				
ESPECIFICACIONES				
CONCEPTO	FECHA	PROPONE	R/D	DESCRIPCIÓN
Equipos y dispositivos		D+F	D	Incorporar un sistema de control
		D+F	R	Implementación de sensores
		D	D	Implementación de un sistema para producción continua y de fácil mantenimiento
		D+F	R	Integración de motores eléctricos
		D	R	Estudio y aplicación de la hidrodinámica para fluidos en movimiento
Mantenimiento		C+D	D	Una vez al mes
Volumen de materia prima		D+F	R	23kg/hora
Seguridad y ergonomía		D+F	R	Ergonomía para el operador
		D+F	R	Implementación de un tablero de mando y control
Repuestos nacionales		D	D	Adaptable a repuestos universales
Procesos		D	R	4 procesos básicos de fabricación de briquetas: alimentación, triturado, prensado y corte.
Dimensiones		D+F	R	0.93 m de ancho, 1.17 m de alto y 1.05 m de profundidad
Propone:	I: Ingeniero		C: Cliente	
R/D	R: Requerimiento		D: Deseo	

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

A partir de estas necesidades se dan las especificaciones requeridas y deseadas por el cliente y el ingeniero. En la Tabla 4-3, se puede visualizar las especificaciones que deben ser consideradas en el diseño de la máquina.

b. Parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.

En el trabajo realizado por Fonseca (2011), se define los parámetros requeridos para la elaboración de las briquetas. La Tabla N°3.5, presenta una lista de parámetros con sus respectivos rangos de valores, los cuales se deben considerar en la fabricación de briquetas. De acuerdo a esta tabla y con las conclusiones obtenidas en la matriz de la casa de la calidad, se analiza y diseña los procesos y componentes que formarán parte de la máquina briquetadora de carácter semi-industrial.

Es importante anotar que la temperatura, dependiendo de la briquetadora, se relaciona con la presión, debido a la fricción interna que se produce entre las partículas y la pared del contenedor de la materia prima (Fonseca, 2011).

Tabla 5-3: Parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.

Parámetro	Tecnología Aplicada			Aglomerante
	Artisanal	Semi-industrial	Industrial	
Humedad	>20%	15 al 20%	5 al 15%	Si
Presión	<5MPa	5 a 100 MPa	>100MPa	Depende de la presión aplicada y la materia prima utilizada.
Temperatura	Depende de la presión aplicada			
Tamaño de partículas (granulometría)	<5mm	<5mm	<15mm	No

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Comprobación de parámetros.

Se procede a verificar si la materia prima derivada de las líneas de producción de la empresa DECOSA Cía. Ltda., cumple con los parámetros establecidos en la Tabla 5-3.

- Humedad

Para medir la humedad que contiene la materia prima de serrín y viruta se usó el método de secado al horno. El contenido de humedad de la madera es la relación expresada en porcentaje entre la masa de agua que se encuentra en el volumen dado de la madera y la masa de la misma exenta de agua (madera seca). Esta relación se expresa mediante la ecuación (Bernal, 1998):

$$H_m = \frac{m_h - m_o}{m_o} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 1-3.}$$

Dónde:

$H_m = \text{Humedad}(\%)$

$m_h = \text{masa del aserrín y viruta húmeda (gr)}$

$m_o = \text{masa del aserrín y viruta seca (gr), es decir con un porcentaje del 0\%}$

Datos:

$m_{\text{serrinyviruta húmeda}} = m_h = 2.96\text{gr}$

$m_{\text{serrinyviruta seca}} = m_o = 2.65\text{gr}$

$\text{Temperatura del horno} = 110^\circ\text{C}$

$\text{Tiempo} = 1 \text{ hora}$

Cálculos:

$$H_m = \frac{2,96 - 2,65}{2,65} \cdot 100\%$$

$$H_m = 11,69\%$$

De esta manera se comprueba que la humedad de la materia prima de la empresa Decosa Cía. Ltda., se encuentra dentro de los límites que se requiere para el proceso de briquetado.

- Presión.

La presión se determinará en base al sistema aplicado para la compactación de la materia prima, pero se debe considerar el rango que se establece en la Tabla N° 3.5, para conseguir una buena compactación en el proceso de formación de briquetas.

- Tamaño de partículas.

En cuanto al porcentaje de granulometría, la materia prima compuesta por la viruta tiene partículas que van desde los 5mm hasta los 25mm, por lo que es necesario disminuir el tamaño de las partículas a la medida recomendada en los parámetros de fabricación de briquetas.

- Aglomerante.

Por último y como dato importante a considerar, se evita el uso de aglomerantes, debido a que la lignina (sustancia propia de la madera) presente en los granos de aserrín, sirve de medio para la compactación de partículas, lo cual permite obtener un producto libre de químicos perjudiciales para el medio ambiente.

3.2 Diseño funcional del sistema de la máquina briquetadora.

Con el fin de encontrar la mejor solución que satisfaga todos los requerimientos establecidos y que puedan ser aplicados como solución por la voz del ingeniero, se propone utilizar el método del Análisis funcional, con el cual se pretende conocer las funciones que realizará cada módulo que forma parte de la máquina briquetadora.

3.2.1 *Análisis funcional y generación de módulos.*

El análisis funcional se basa en un estudio por bloques del diseño de la máquina, comenzando desde el nivel 0, aquí se especifica la función principal que realizará la máquina briquetadora. En la Figura 1-3, se muestra la función principal.

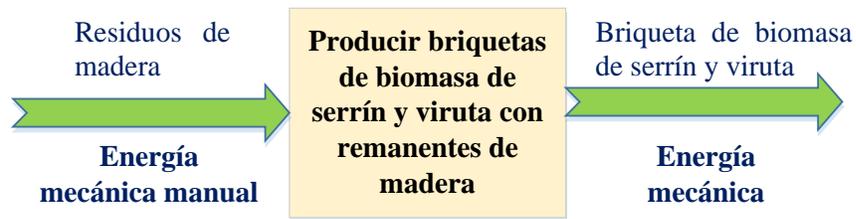


Figura 1-3: Nivel 0: Función principal.

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Una vez que se ha establecido la función principal de la máquina, se puede continuar con la desagregación de las etapas y procesos que permitan cumplir con el propósito clave, esto se realiza en el nivel 1. La interpretación del nivel 1 se detalla en la Figura 2-3.

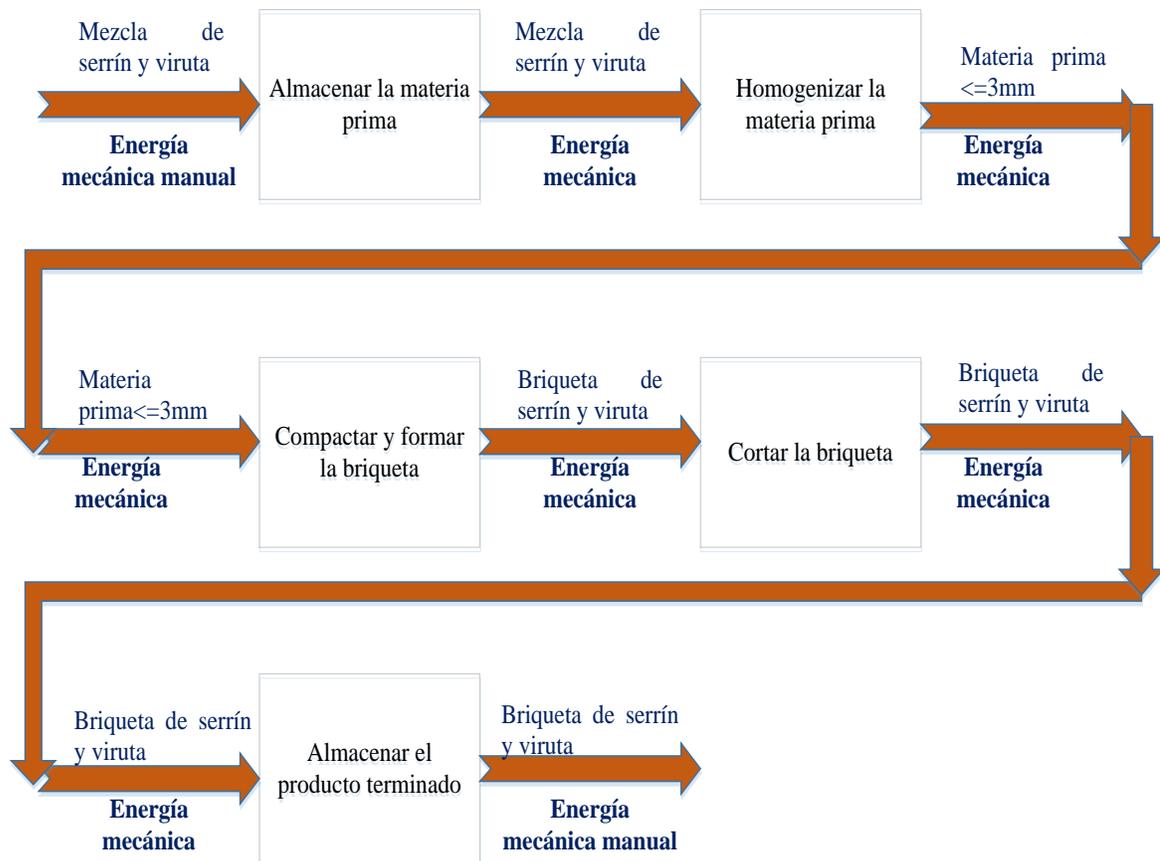


Figura 2-3: Nivel 1: Análisis Funcional.

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

A continuación se realiza un análisis de las funciones secundarias o subsistemas que forman parte de la máquina, este estudio constituye el nivel 2, y deben cumplir con la premisa de mantener una relación causa-efecto, es decir que logren cumplir con el propósito del nivel 1. Para esto se debe seleccionar y agrupar el número de módulos de la que estará formada la briquetadora, esto se puede observar en la Figura 3-3.

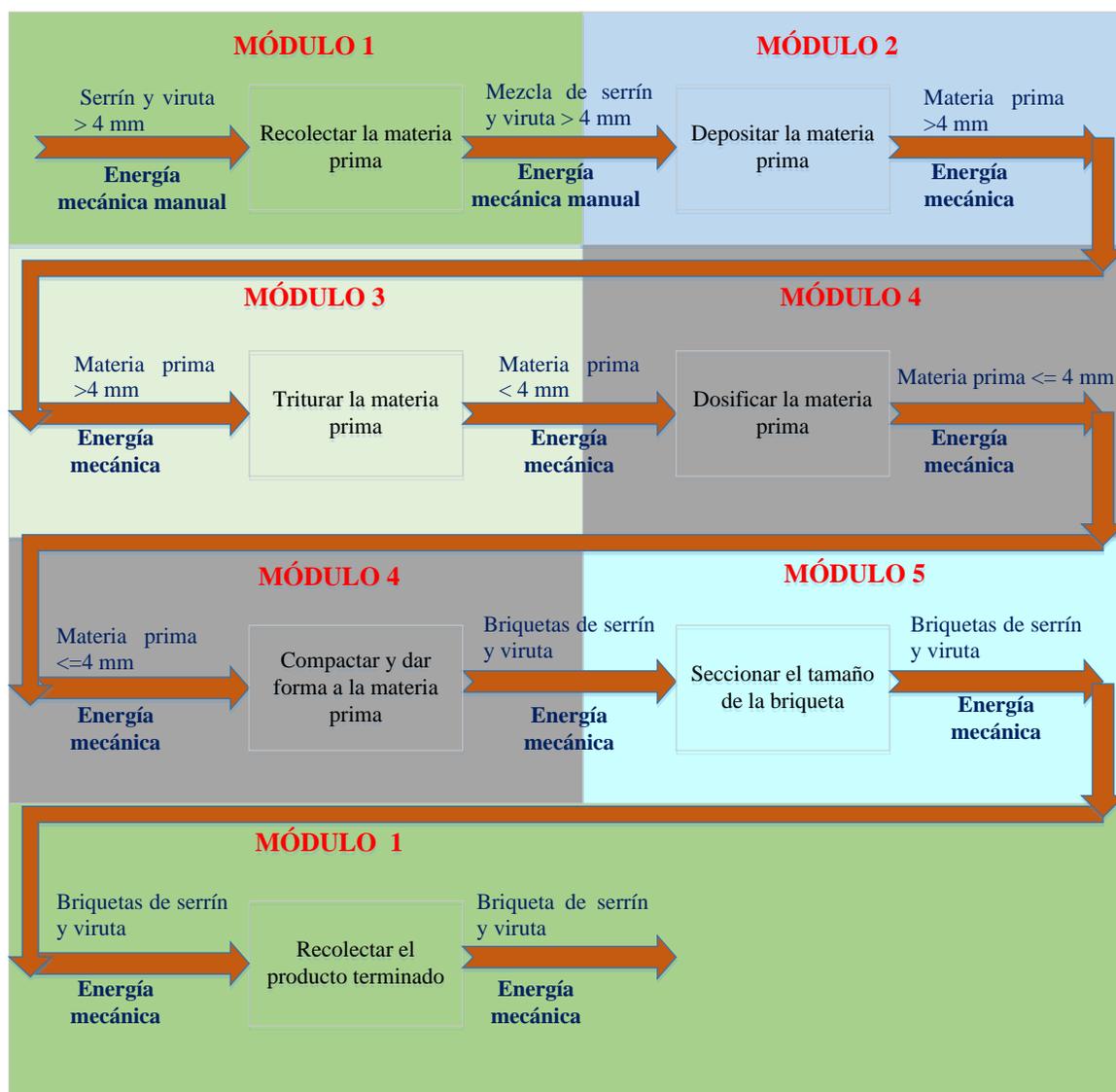


Figura 3-3: Determinación de módulos.

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

3.2.2 *Generación de alternativas.*

Una vez que se ha generado los módulos funcionales para el diseño de la máquina, se procede a buscar alternativas para cada módulo de acuerdo al criterio técnico otorgado por la voz del ingeniero. En este análisis por módulos se seleccionara la mejor solución, la más conveniente y la que esté más de acuerdo con los resultados obtenidos, una vez que se haya aplicado el método ordinal corregido de los criterios ponderados.

La Tabla 6-3, presenta las diferentes alternativas de solución que se estudiaron como posibles soluciones para el módulo 1.

Tabla 6-3: Generación de alternativas para el módulo 1.

MÓDULO 1	SOLUCIÓN A	SOLUCIÓN B	SOLUCIÓN C
Recolectar la materia prima	Manual	Colector de mangas	Colector de vacío y tubo
Recolectar el producto terminado	Recipiente de almacenamiento	Cartón	Directo en el suelo

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

En la Tabla 7-3, se muestra tres posibles alternativas de solución para cumplir con las necesidades del módulo 2.

Tabla 7-3: Generación de alternativas para el módulo 2.

MÓDULO 2	SOLUCIÓN A	SOLUCIÓN B	SOLUCIÓN C
Depositar la materia prima	Tolva de alimentación	Silo de alimentación	Tanque

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

A continuación, se propone tres alternativas para el módulo 3. Esto se puede observar en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Generación de alternativas para el módulo 3.

MÓDULO 3	SOLUCIÓN A	SOLUCIÓN B	SOLUCIÓN C
Triturar la materia prima	Molino de discos y cuchillas	Molino de bolas	Molino de martillos

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Para el módulo 4, se plantea las alternativas que se indican en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Generación de alternativas para el módulo 4.

MÓDULO 4	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
Dosificar la materia prima	Malla circular con perforaciones	Sistema de dosificación externo	Eje sin fin
Compactar y dar forma a la materia prima	Cilindro hidráulico	Cilindro neumático	Eje transportador y camisa cónica.

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Finalmente, se presenta tres posibles soluciones para el módulo 5 (Tabla 10-3).

Tabla 10-3: Generación de alternativas para el módulo 4.

MÓDULO 5	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
Cortar la briqueta	Cilindro actuador	Disco de sierra	Leva de corte

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

3.2.3 *Método de evaluación de soluciones.*

Con el objetivo de determinar aquella alternativa que resulte más conveniente a las especificaciones solicitadas, se emplea el método ordinal corregido de los criterios ponderados.

En el libro de Riba (2002), se explica sobre el método ordinal corregido de los criterios ponderados, el cual se basa en una tabla donde cada criterio (o solución, para determinado criterio), se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

1: Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0.5: Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0: Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio se suman los valores asignados en relación a los restantes, al que se le añade una unidad, después en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio. Por último, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio (Riba, 2002).

A continuación se formulan los principios de solución para cada alternativa, para lo cual se procederá a determinar los criterios de valoración más importantes de acuerdo a cada módulo establecido para la briquetadora.

3.2.3.1 *Módulo 1: Módulo de recolección.*

Los criterios de valoración que se consideran más determinantes, para este módulo son:

- c. *Peso moderado*, debido a que la recolección de materia prima como la del producto terminado se lo realizará de forma manual, el peso no debe exceder los límites soportados por la fuerza humana.
- d. *Fácil manipulación*, se debe implementar un sistema de fácil manipulación que ayude al operario a la recolección de los residuos de madera y de las briquetas.
- e. *Funcional*, el diseño del módulo de recolección de briquetas debe permitir recolectar el producto sin que esté sufra algún daño a la salida del proceso.

Analizado estos datos, se procede con los siguientes pasos:

- Evaluación del peso específico de cada criterio.

En la Tabla 11-3, se indica la evaluación realizada a cada uno de los criterios establecidos para el Sistema de recolección.

Tabla 11-3: Evaluación de criterios del módulo 1.

Peso moderado >Fácil manipulación > Funcional					
CRITERIOS	Peso moderado	Fácil manipulación	Funcional	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso moderado	0,5	1	1	3,5	0,467
Fácil manipulación	0	0,5	1	2,5	0,333
Funcional	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

- Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

Evaluación del peso específico del criterio **peso moderado** (Tabla 12-3).

Tabla 12-3: Evaluación del criterio peso moderado.

Solución A > Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	1	2,5	0,333
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **fácil manipulación** (Tabla 13-3).

Tabla 13-3: Evaluación del criterio fácil manipulación.

Solución A > Solución C > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,4667
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,2
Solución C	0	1	0,5	2,5	0,333
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **funcional** (Tabla 14-3).

Tabla 14-3: Evaluación del criterio funcional.

Solución B > Solución A > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	0	1	2,5	0,333
Solución B	1	0,5	1	3,5	0,4667
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

A continuación el cálculo de la tabla de conclusiones (Tabla 15-3).

Tabla de conclusiones.

Tabla 15-3: Tabla de conclusiones del módulo 1.

CONCLUSIONES	Peso moderado	Fácil manipulación	Funcional	Σ	Prioridad
Solución A	0,217	0,155	0,066	0,439	1
Solución B	0,155	0,066	0,093	0,315	2
Solución C	0,093	0,111	0,04	0,244	3

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

De la Tabla 15-3, se observa que la solución A, es aquella que se ha determinado con la más alta prioridad, esta alternativa cumple con los criterios estudiados para el módulo 1.

3.2.3.2 *Módulo de alimentación.*

Los criterios más relevantes que ayudan al estudio de este módulo son:

- *Capacidad de almacenamiento*, la tolva de alimentación se dimensionara con el fin de que acumule 23 kg de materia prima, esto se hace en relación directa con el nivel de producción de los desperdicios que se adquieren en los procesos de producción de la fábrica de madera.
- *Ángulo de caída*, se debe considerar en el diseño que los ángulos que se forman en la tolva, tengan una inclinación mayor a 45 grados, con el fin de evitar aglutinaciones en la caída del material.
- *Ergonomía*, se debe realizar un estudio de las condiciones en las que se hará la alimentación de la materia prima, con el fin de facilitar el trabajo al operador y lograr un mejor rendimiento.

A partir de estos datos, se procede a la evaluación del peso específico para cada criterio.

- *Evaluación del peso específico de los criterios del módulo 2.*

En la Tabla 16-3, se realiza una evaluación de los criterios establecidos para el sistema de almacenamiento.

Tabla 16-3: Evaluación de criterios del módulo 2.

Capacidad de almacenamiento > Angulo de caída > Ergonomía					
CRITERIOS	Capacidad de almacenamiento	Angulo de caída	Ergonomía	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacidad de almacenamiento	0,5	1	1	3,5	0,467
Angulo de caída	0	0,5	1	2,5	0,333
Ergonomía	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

- *Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.*

Evaluación del peso específico del criterio **capacidad de almacenamiento** (Tabla 17-3).

Tabla 17-3: Evaluación del criterio capacidad de almacenamiento.

Solución A > Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	1	2,5	0,333
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **ángulo de caída** (Tabla 18-3).

Tabla 18-3: Evaluación del criterio ángulo de caída.

Solución A > Solución C > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,2
Solución C	0	1	0,5	2,5	0,333
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **ergonomía** (Tabla 19-3).

Tabla 19-3: Evaluación del criterio ergonomía.

Solución A = Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución B	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

A continuación el cálculo de la tabla de conclusiones (Tabla 20-3).

Tabla 20-3: Tabla de conclusiones del módulo 2.

CONCLUSIONES	Capacidad de almacenamiento	Ángulo de caída	Ergonomía	Σ	Prioridad
Solución A	0,233	0,146	0,088	0,467	1
Solución B	0,167	0,104	0,062	0,333	2
Solución C	0,1	0,063	0,036	0,199	3

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Como resultado de este análisis, se observa que la solución A, la cual consiste en una tolva de almacenamiento es la mejor opción para depositar los residuos de aserrín y viruta, debido a que se ajusta a los criterios de valoración considerados en el módulo 2.

3.2.3.3 Módulo 3: Módulo de trituración.

Los criterios de valoración para este módulo son:

- Fuerza de corte, de acuerdo al material a triturar y a los elementos que forman parte del sistema de trituración se debe definir la fuerza de corte que se empleara en la trituración del material.
- *Forma y tamaño*, es importante verificar el tamaño y forma de la materia prima del serrín y viruta que se va a recolectar para el ingreso al sistema de alimentación, ya que esté se diseñara para un tamaño comprendido entre (2 y 2.5) cm. De igual manera se debe verificar la forma y tamaño del producto terminado, si cumple con las especificaciones requeridas para conseguir un producto de calidad.
- *Mantenimiento*, debe ser un sistema desmontable, que permita la facilidad de revisión y supervisión de partes y piezas y de ser el caso la reposición de alguna de ellas.
- *Material*, se debe considerar un material de alta durabilidad, que soporte el trabajo al que va a ser sometido las cuchillas, con el fin de asegurar la vida útil del elemento.
- Evaluación del peso específico de cada criterio (Tabla 21-3).

Tabla 21-3: Evaluación de criterios del módulo 3.

Forma y tamaño > Fuerza de corte > Material > Mantenimiento						
CRITERIOS	Forma y tamaño	Fuerza de corte	Material	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Forma y tamaño	0,5	1	1	1	4,5	0,375
Fuerza de corte	0	0,5	1	1	3,5	0,292
Material	0	0	0,5	1	2,5	0,208
Mantenimiento	0	0	0	0,5	1,5	0,125
Total					12	1,000

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

- Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

Evaluación del peso específico del criterio **forma y tamaño** (Tabla 22-3).

Tabla 22-3: Evaluación del criterio forma y tamaño.

Solución A > Solución C > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,2
Solución C	0	1	0,5	2,5	0,333
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **fuerza de corte** (Tabla 23-3).

Tabla 23-3: Evaluación del criterio fuerza de corte.

Solución A = Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución B	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **Material** (Tabla 24-3).

Tabla 24-3: Evaluación del criterio material.

Solución A > Solución C > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,2
Solución C	0	1	0,5	2,5	0,333
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **Mantenimiento** (Tabla 25-3).

Tabla 25-3: Evaluación del criterio mantenimiento.

Solución B > Solución A > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	0	1	2,5	0,333
Solución B	1	0,5	1	3,5	0,467
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Tabla de conclusiones (Tabla 26-3).

Tabla 26-3: Tabla de conclusiones del módulo 3.

CONCLUSIONES	Forma y tamaño	Fuerza de corte	Material	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución A	0,175125	0,1168	0,097136	0,041625	0,431	1
Solución B	0,075	0,1168	0,0416	0,058375	0,292	2
Solución C	0,124875	0,0584	0,069264	0,025	0,278	3

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Como se puede observar en la Tabla N°3.26, la solución ganadora es la solución A, por lo tanto se la puede aplicar para el diseño del módulo de trituración.

3.2.3.4 Módulo 4: Módulo de compactación.

Para este módulo se estudia los siguientes criterios:

- *Presión*, la compactación de las partículas de aserrín y viruta depende directamente de la presión que se le aplique. La presión aplicada a los residuos de madera permitirá activar la lignina propia del material, asegurando la compactación de la materia.
- *Dureza*, para que una briqueta no se desintegre es necesario seleccionar una dureza que se encuentre alrededor del 90%. Esta es una de las características más importantes de las briquetas, ya que se encuentran expuestas a la manipulación, almacenamiento y transporte.
- *Tamaño y forma de la briqueta*, la forma escogida es cilíndrica con orificio central, con un diámetro externo e interno que permita tener circulación de aire en la combustión, ya que el fin de la briqueta es la de obtener energía calórica al combustionar las briquetas

Evaluación del peso específico de cada criterio (Tabla 27-3).

Tabla 27-3: Evaluación de criterios del módulo 4.

Presión > Dureza > Tamaño y forma de la briqueta					
CRITERIOS	Presión	Dureza	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderación
Presión	0,5	1	1	3,5	0,467
Dureza	0	0,5	1	2,5	0,333
Tamaño y forma de la briqueta	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

- Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

Evaluación del peso específico del criterio **presión** (Tabla 28-3).

Tabla 28-3: Evaluación del criterio presión.

Solución A > Solución C > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,2
Solución C	0	1	0,5	2,5	0,333
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **dureza** (Tabla 29-3).

Tabla 29-3: Evaluación del criterio presión.

Solución C > Solución A > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	0	2,5	0,333
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,200
Solución C	1	1	0,5	3,5	0,467
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **tamaño y forma de la briqueta** (Tabla 30-3).

Tabla 30-3: Evaluación del criterio tamaño y forma.

Solución C > Solución A > Solución B					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	0	2,5	0,333
Solución B	0	0,5	0	1,5	0,200
Solución C	1	1	0,5	3,5	0,467
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Tabla de conclusiones (Tabla 31-3).

Tabla 31-3: Tabla de conclusiones del módulo 4.

CONCLUSIONES	Presión	Dureza	Tamaño y forma de la briqueta	Σ	Prioridad
Solución A	0,218	0,111	0,067	0,396	2
Solución B	0,093	0,067	0,04	0,200	3
Solución C	0,156	0,156	0,093	0,404	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

La solución ganadora para el módulo 4 es la solución C, es decir que la compactación se realizara por medio de un eje transportador y una camisa cónica.

3.2.3.5 *Módulo 5: Módulo de corte*

Se considera los siguientes criterios de valoración:

- *Método de corte*, se considera la implementación de un sistema automático de corte con sensores, con el fin de regular el tamaño de la briqueta.
- *Velocidad de corte*, se considera una rapidez de bajo rango, debido a que el material y la longitud a cortar es muy pequeña, por lo que no se necesita de altas velocidades.
- *Fuerza de corte*, se analiza el tipo de material a cortar, el aserrín y la viruta al ser un material de contextura suave no requiere aplicar mucha fuerza.

Evaluación del peso específico de cada criterio (Tabla 32-3).

Tabla 32-3: Evaluación de criterios para el módulo 4.

Fuerza de corte > Velocidad de corte > Método de corte					
CRITERIOS	Fuerza de corte	Velocidad de corte	Método de corte	$\Sigma+1$	Ponderación
Fuerza de corte	0,5	1	1	3,5	0,467
Velocidad de corte	0	0,5	1	2,5	0,333
Método de corte	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **fuerza de corte** (Tabla 33-3).

Tabla 33-3: Evaluación del criterio fuerza de corte.

Solución A > Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	1	2,5	0,333
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **velocidad de corte** (Tabla 34-3).

Tabla 34-3: Evaluación del criterio velocidad de corte.

Solución A = Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución B	0,5	0,5	1	3	0,4
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Evaluación del peso específico del criterio **método de corte** (Tabla 35-3).

Tabla 35-3: Evaluación del criterio método de corte.

Solución A > Solución B > Solución C					
CRITERIOS	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	0,5	1	1	3,5	0,467
Solución B	0	0,5	1	2,5	0,333
Solución C	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Tabla de conclusiones (Tabla 36-3).

Tabla 36-3: Tabla de conclusiones del módulo 5.

CONCLUSIONES	Fuerza de corte	Velocidad de corte	Método de corte	Σ	Prioridad
Solución A	0,218	0,133	0,093	0,445	1
Solución B	0,156	0,133	0,067	0,355	2
Solución C	0,093	0,067	0,04	0,200	3

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Como resultado de este estudio, se ha determinado a la solución A como la ganadora.

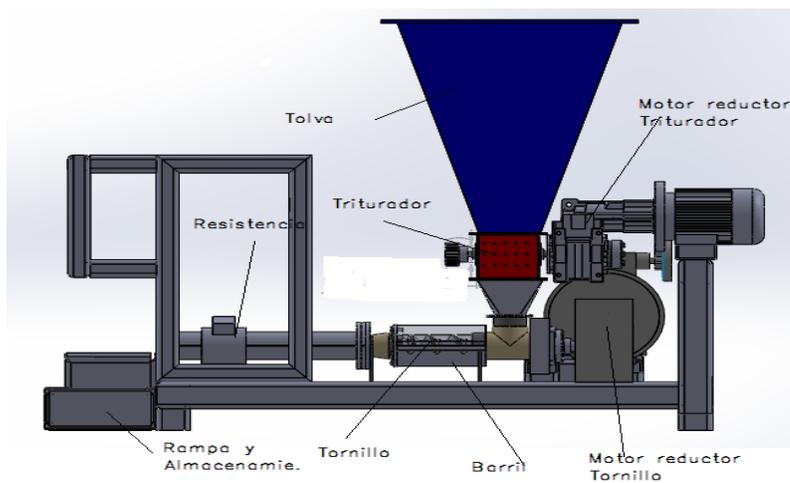


Figura 4-3: Prototipo de la máquina briquetadora.

Realizado por: GALLO, Verónica. 2017.

Luego de analizar todos estos parámetros y las relaciones con los componentes, se obtiene un prototipo del diseño de la máquina briquetadora (Figura 4-3).

3.3 Diseño de detalle de la máquina briquetadora.

En este punto se definirá los materiales y el dimensionamiento de las piezas y mecanismos de la máquina, de acuerdo a la evaluación de los módulos y sistemas que se realizó en el apartado anterior.

3.3.1 *Requerimientos productivos.*

Para la producción de las briquetas de biomasa de serrín y viruta se requiere:

- Un módulo de almacenamiento, en el cual se haga la alimentación de los residuos de madera.
- Un módulo de trituración, el cual se encargara de reducir el tamaño de las virutas y astillas al tamaño recomendado para la formación de las briquetas.
- Un módulo de compactación que sea de producción continua y de fácil mantenimiento, factible de ser fabricado por partes.
- Un módulo de corte, para el seccionamiento de la briqueta.
- Un módulo de recolección de briquetas al final del proceso.

3.3.2 *Cálculo y dimensionamiento del módulo de alimentación.*

Para el cálculo y dimensionamiento del módulo de alimentación se requiere del diseño de una tolva, para lo cual se considera una capacidad de 23 kg por hora. Su construcción se realizará en planchas de acero A-36 de 3mm de espesor, debido a que no requiere realizar mayor esfuerzo ni soportar grandes pesos.

La producción de desperdicios de aserrín y viruta, que se extrae semanalmente de la fábrica de madera se encuentra en un promedio de 15 sacos entre los dos residuos de madera. Aproximadamente se extrae un promedio de 6 sacos de aserrín y 9 de viruta, los sacos de aserrín tienen un peso de 40lb y los de viruta 25 lb.

El diseño de la tolva empieza con el cálculo de su volumen, sabiendo que la capacidad de la máquina será de 23 kg/h y que la densidad promedio entre los dos elementos que forman la materia prima es de 397.5 kg/m^3 , se obtiene:

$$V_{tv} = \frac{\text{masa}}{\rho_{\text{materia prima}}} \quad \text{Ecuación 2-3.}$$

$$V_{tv} = \frac{23 \text{ kg}}{397.5 \text{ kg/m}^3} = 0.06 \text{ m}^3$$

Para dimensionar la tolva, se asumió que tendrá la forma de una pirámide truncada (Figura N° 3.5), ya que estale permite acoplarse al sistema de trituración. Para el diseño del triturador se ha considerado una caja rectangular, por lo tanto la parte superior de la trituradora se deberá acoplar a la base menor de la pirámide

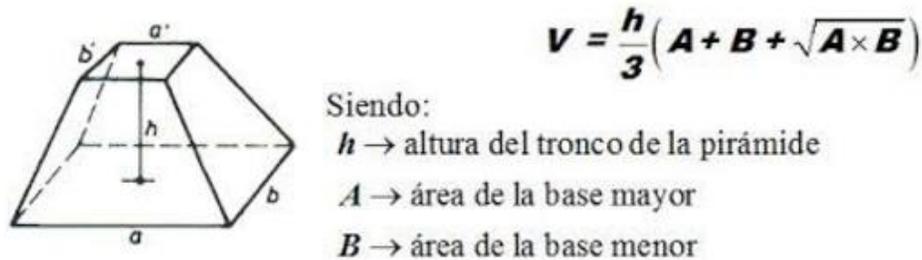


Figura 5-3: Volumen de una pirámide truncada

Fuente: (<http://www.aulafacil.com/cursos/110701/ciencia/matematicas/calculo-de-volumenes/volumen-del-tronco-de-la-piramide>)

Se asume una altura de la pirámide de 60 cm , y una base menor con dimensiones de $(13.3\text{cm} * 16.4\text{cm})$, se considera que esta medida debe ser igual a la parte superior de la caja trituradora para un posterior ensamble.

Con estos datos se procede a calcular, la medida de la base superior de la pirámide.

$$V = \frac{60}{3} (A + 2.18\text{cm} + \sqrt{A * 2.18}) \quad \text{Ecuación 3-3.}$$

Despejado A, queda:

$$A = 0.25\text{m}^2$$

Por diseño la base superior de la tolva es un cuadrado por lo tanto, el lado del cuadrado tiene una dimensión de 58cm.

La aplicación del diseño concurrente exige incorporar herramientas informáticas que faciliten el estudio del diseño y garanticen niveles altos de eficiencia, por lo que se ve necesaria la aplicación de un software de diseño. En este proyecto se ha incorporado la herramienta SolidWork para realizar el CAD de la tolva (Figura 6-3).

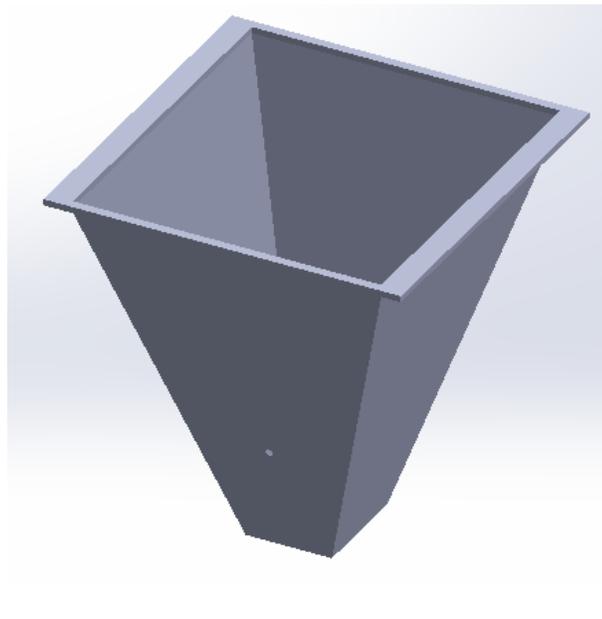


Figura 6-3: Tolva de alimentación.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Con el fin de evitar la aglomeración de los residuos de madera, se ha diseñado una tolva con un ángulo de reposo de 73 grados, con lo cual se llega a cumplir que el ángulo de reposo para el diseño de una tolva debe ser mayor a los 45 grados (Prontuario/Tablas/NormasMV/Tabla, s.d).

El dimensionamiento y especificaciones de la tolva a detalle, se encuentra en el Anexo B.1

3.3.3 Cálculo y dimensionamiento del módulo de trituración.

Se hace un análisis partiendo de la cantidad de residuos de madera que se deben cortar y la fuerza necesaria para partir estos residuos.

El diseño del sistema debe considerar la capacidad de molienda (23kg/h) y el tamaño de las partículas más grandes que se tendrá es de 25 mm. Se supone una forma de la partícula de prisma rectangular con largo y ancho igual a 8 mm y altura de 25 mm.

$$V_1 = \text{largo} * \text{ancho} * \text{altura (de la astilla)} \quad \text{Ecuación 4-3.}$$
$$V_1 = 25 * 8 * 8 = 1600 \text{ mm}^3 = 1,6 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Si se multiplica por la densidad de la materia prima que es 397.5 Kg/m^3 y se tiene el peso de la astilla $0.64 * 10^{-3} \text{ Kg}$, se puede saber el número de astillas que se deben romper en un minuto:

$$23 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ astilla}}{0.64 * 10^{-3} \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 203 \frac{\text{astillas}}{\text{min}}$$

Se asume un motor con una velocidad de giro de 100 rpm para saber el número de astillas que se deben romper por revolución del motor.

$$\frac{203 \frac{\text{astillas}}{\text{min}}}{100 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 2.03 \frac{\text{astillas}}{\text{rev}}$$

El número de astillas a romper son 2, pero se podría poner 5 cuchillas para romper 5 astillas, por lo que nuestra suposición de rpm es aceptable.

El módulo de ruptura de la madera es $14,34 \text{ Nmm}^2$ (Estructural & Peña, n.d.). Si esta fuerza es aplicada sobre un área de 1 mm de espesor y con un ancho igual al ancho de las astillas se tiene un área de 8 mm^2 , que sería el área que ejerce la arista cortante del disco, esto se indica en la FiguraN°3.7.

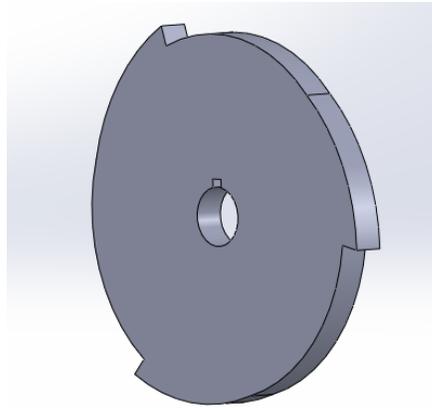


Figura 7-3: Disco cortante de la trituradora

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Si la fuerza es de 114 N y si se multiplica por un factor de seguridad igual a 2, se obtiene 229 N, por lo tanto se escoge una fuerza de 250 N.

Se concluye entonces que la fuerza que realiza cada cuchilla sobre el eje es:

$$F_y = 250N.$$

Torque necesario

Si se considera, que el torque necesario es el que se produce al chocar las cuchillas con las astillas, y que se tiene 5 fuerzas que actúan en un brazo igual al radio de la cuchilla, se tiene la Figura 8-3.

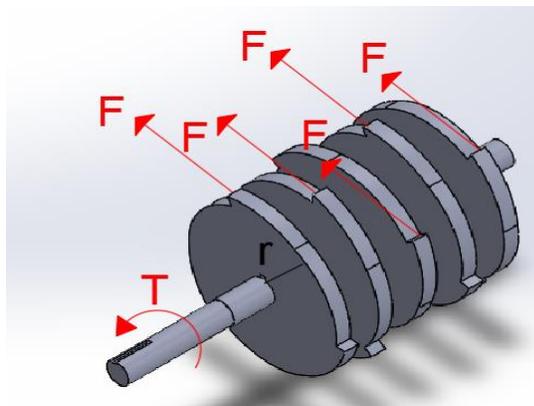


Figura 8-3: Fuerzas en los discos de corte

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

El torque que debe tener el motor reductor a seleccionar es calculado con la siguiente expresión.

$$T = F * r * n$$

Ecuación 5-3.

Dónde:

F= Fuerza para romper las astillas: 250 N

r= Radio en donde ejerce la fuerza: 0.0525 m

n= número de fuerzas por disco: 5

T= Torque necesario en Nm

Si se remplace los datos obtenidos, se tiene un torque de:

$$T = 250 N * 0.0525 m * 5 = 65 Nm$$

Diseño de los ejes de la trituradora

Primero, estará formado por dos ejes paralelos, los cuales son los responsables del movimiento de las cuchillas; el eje estará conectado a un motor reductor para darle movimiento, el sistema también tiene un engranaje que se encarga de que se muevan a la misma velocidad de giro pero en sentido opuesto (Budynas& Nisbett, 2008). Cada eje se encuentra formado por 5 cuchillas, dos apoyos y una chumacera de pared (Figura N°3.9).

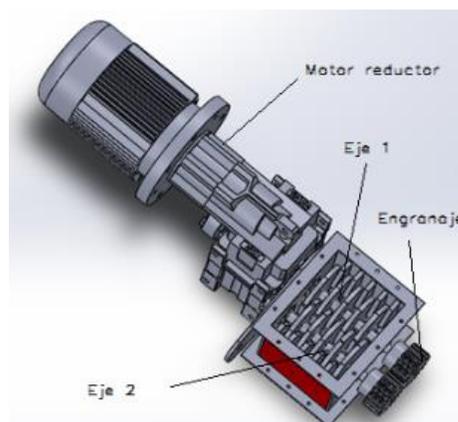


Figura 9-3: Trituradora.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

A continuación se empieza a dimensionar los ejes de la trituradora. Se decide dimensionar tan solo el eje número 1, puesto que en él actúan 7 fuerzas (5 cuchillas, el engranaje que hace que el otro eje gire de forma opuesta y la rueda dentada que conecta con el motor reductor), mientras que el número 2 tiene 5 fuerzas (de la misma magnitud que las del eje 1). De esta manera cuando se tenga dimensionado el eje número 1, se podrá asegurar que el diámetro obtenido también es válido para el eje número 2 (Figura 10-3).

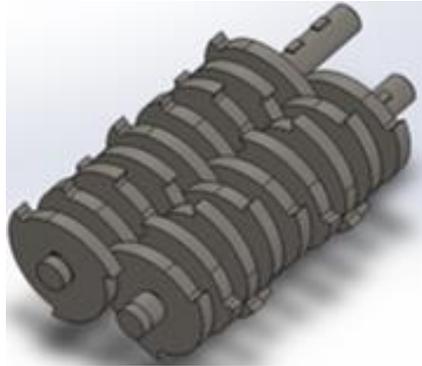


Figura 10-3: Dos ejes de trituración con cuchillas distribuidas.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Para comenzar a dimensionar el eje, se tomara en cuenta los siguientes datos.

- Potencia del motor= 750 W.
- Torque del motor reductor= 68.70 Nm
- Rendimiento del motor= 95 %.
- Longitud del eje= 200 mm.
- Velocidad de giro del motor reductor= 100 rpm.
- Velocidad de giro del eje numero 1= 100 rpm.

Engranajes rectos

Se hace una suposición inicial del módulo y diámetros de un engranaje para luego comprobarlos con los cálculos que se realizarán a continuación.

- Relación de transmisión de los engranajes= 1.
- Diámetro de los engranajes= 66 mm.

- Módulo de los engranajes= 3.
- Dientes de los engranajes= 28.
- Ancho de los engranajes = 50 mm.
- Factor de entalla=2.
- Eje mecanizado.
- Material del eje: Acero AISI 1045.
- $\sigma_F = 310$ MPa.
- $\sigma_R = 565$ MPa.

Con estos datos podemos dimensionar el eje 1 con un factor de seguridad de 2. El torque que entrega el motor reductor y recibe el eje 1 de la cadena es de 68.70 Nm. En el Anexo C se encuentran las características del engranaje de conexión de los ejes del triturador.

Para saber las cargas que soporta los ejes del triturador se analizan los engranajes que conectan a los dos ejes y la carga que transmiten al eje.

Diseño del engranaje.

Como los engranajes son rectos, estos solo ejercen una fuerza tangencial y otra fuerza normal sobre el eje.

Primero, el par que se obtiene del eje 1 a partir del motor reductor, es el mismo que se tendrá en el engranaje que se encuentra en este eje.

Por tanto:

$$Mt_1 = Mt_2 = 68.7N \cdot m \quad \text{Ecuación 6-3.}$$

Para poder obtener la fuerza normal hay que tener en cuenta el siguiente parámetro geométrico de los engranajes rectos:

$$\alpha = 23^\circ$$

Con este parámetro ya se puede calcular las fuerzas que ejercen los engranajes sobre el eje 1.

$$F_T = \frac{2 \cdot Mt_2}{d} = \frac{2(68.7)}{0,120} = 1145N$$

Ecuación 7-3.

$$F_N = F_T \cdot \text{tg}(\alpha) = 1145 \cdot \text{tg}(23) = 486N$$

Por tanto las fuerzas que se obtiene son las siguientes:

$$F_T = 1145N$$

$$F_N = 486N$$

En la Figura N°3.11, se observa las fuerzas que intervienen como cargas para el análisis del eje.

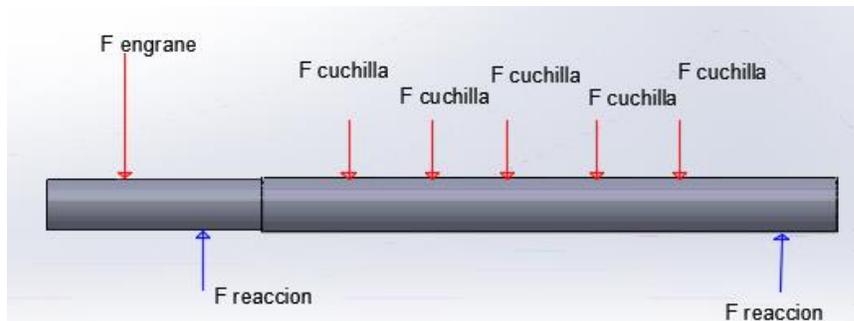
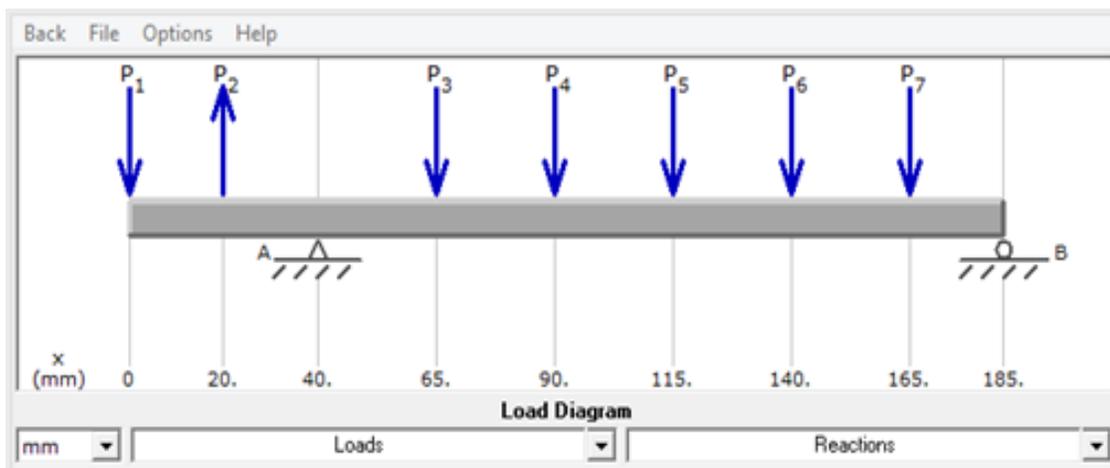


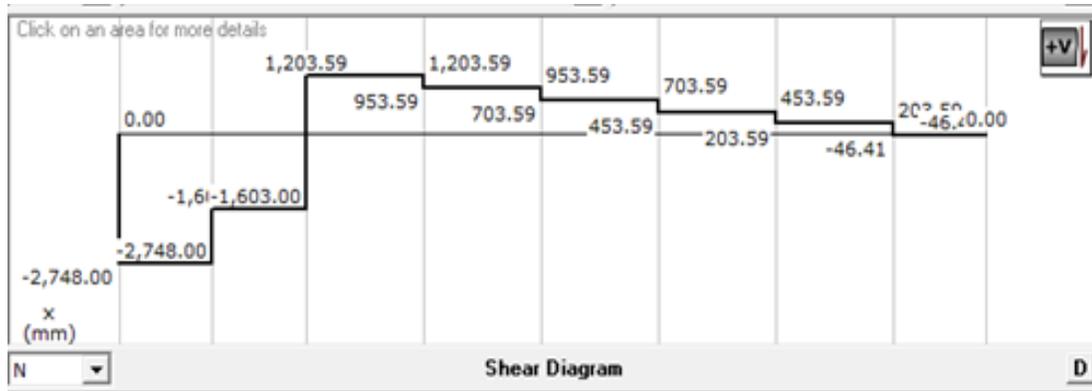
Figura 11-3: Trituradora.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

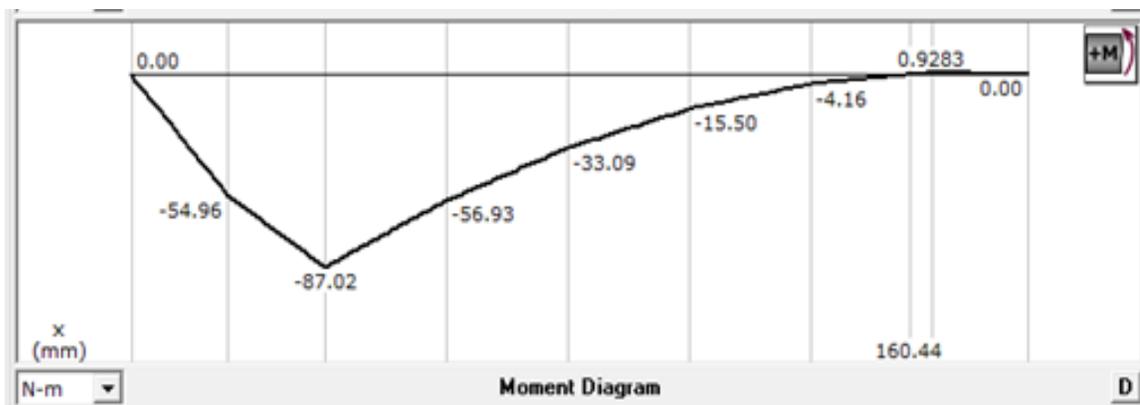
A continuación se realiza el análisis estático del eje triturador (Figura 12-3).



a) Diagrama de carga.



b) Diagrama de corte.



c) Diagrama de momento

Figura 12-3: Diagramas: a) Fuerza b) Corte y c) Momento

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Ahora ya se puede calcular las tensiones:

$$\sigma_{MAX} = \frac{Mf \cdot Y_{max}}{I} = \frac{87 \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{64} \cdot d^4} = \frac{1772,31}{d^3} \quad \text{Ecuación 8-3.}$$

$$\tau_{MAX} = \frac{Mt \cdot Y_{max}}{I_o} = \frac{68,7 \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{32} \cdot d^4} = \frac{700}{d^3} \quad \text{Ecuación 9-3.}$$

$$\sigma_{AXIL} = 0$$

A continuación se pasa a tensiones equivalentes, en el caso de la flexión se tiene el ciclo de carga que se muestra en la Figura 13-3.

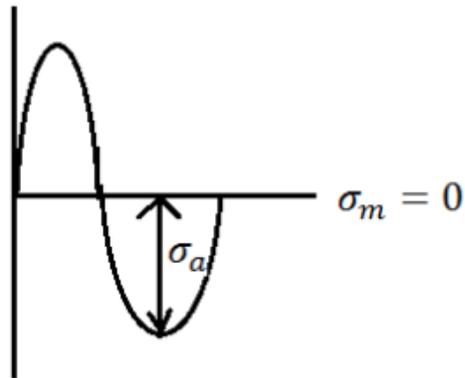


Figura 13-3: Ciclo de carga en el caso de la flexión.

Fuente: (Figura extraída de los apuntes de diseño de máquinas).

Siendo σ_A :

$$\sigma_A = \frac{1772,31}{d^3}$$

Y en consecuencia:

$$\sigma_{eq}^a = \frac{1772,31}{d^3}$$

En el caso de la torsión se tiene el ciclo de carga mostrado en la Figura N°3.14.

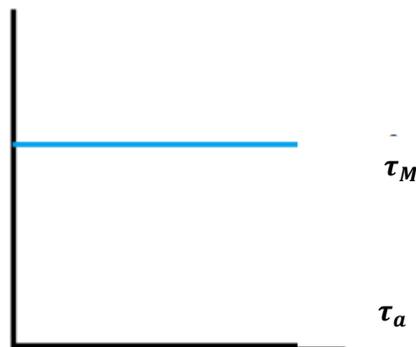


Figura 14-3: Ciclo de carga en el caso de la torsión.

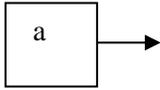
Fuente: (Figura extraída de los apuntes de diseño de máquinas.)

Siendo τ_M :

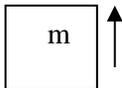
$$\tau_M = \frac{700}{d^3}$$

Ecuación 10-3

Por tanto se tiene:



$$\sigma_A = \frac{1772,31}{d^3} = \sigma_{eq}^a$$



$$\tau_M = \frac{700}{d^3}$$

En este último caso se aplican Mohr y Von Mises para obtener la tensión media equivalente. Al aplicar este proceso se obtiene la siguiente tensión media equivalente:

$$\sigma_{eq}^m = \frac{800}{d^3}$$

Por lo tanto las tensiones equivalentes obtenidas son las siguientes:

$$\sigma_{eq}^a = \frac{1772,31}{d^3}$$

$$\sigma_{eq}^m = \frac{1200}{d^3}$$

Con esto se da por terminada las solicitaciones del eje y se puede pasar a calcular la resistencia de este.

La resistencia se calcula con la expresión de la tensión límite a fatiga, la cual se muestra a continuación.

$$\sigma_f = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot \frac{1}{K_f} \cdot \sigma_{F'}$$

Ecuación 11-3

En este caso $\sigma_{F'} = 0,5 \cdot \sigma_R$ porque se está trabajando para 10^6 ciclos. Por tanto se tiene:

$$\sigma_f = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot \frac{1}{K_f} \cdot 0,5 \cdot \sigma_R$$

A continuación se muestran (Figura N°3.15), la selección de los diferentes factores para poder calcular la tensión límite.

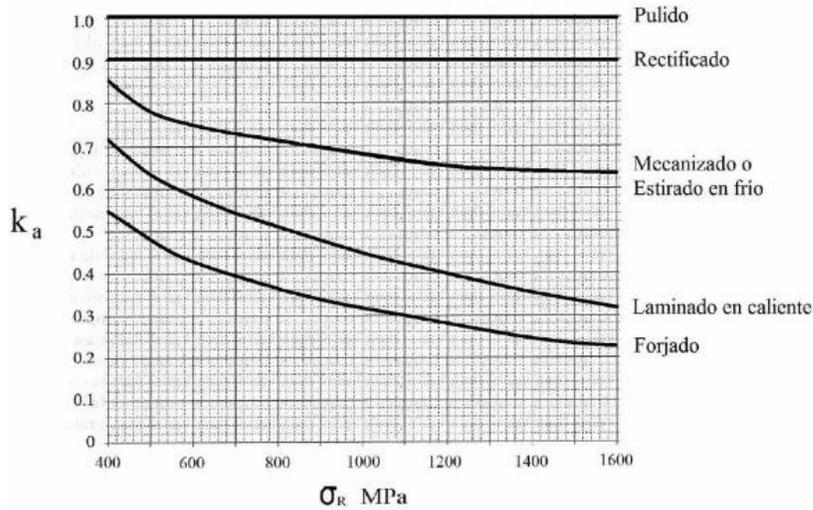


Figura 15-3: Factor de acabado superficial.

Fuente: (<http://cad-cae.com/serv02.htm>)

Con ayuda de la gráfica y sabiendo que el eje ha sido mecanizado y su tensión de rotura es de 565 MPa podemos hallar un Ka de 0,75. Por tanto:

$$K_a = 0,75$$

Factor de tamaño (Figura N°3.16)

Para piezas de sección circular a flexión y/o torsión:

Ø [mm]	10	15	20	25	30	35	40	45	50
k _b	1	0,93	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80

Si Ø > 50 mm entonces k_b = 0,75

Figura 16-3: Factor de tamaño.

Fuente: (<http://es.slideshare.net/isaacnajar/diseo-de-carga-por-fatiga-expo-1>)

En este caso se tiene que hacer una hipótesis, se supondrá que el diámetro del eje es de 35 mm y por tanto:

$$K_b = 0,84$$

Factor de tipo esfuerzo (Figura 17-3)

$$K = \begin{cases} 1 & \text{Flexión} \\ 0.85 & \text{Axial} \\ 0.59 & \text{Torsión} \end{cases}$$

Figura 17-3: Factor de esfuerzo.

Fuente: (<http://es.slideshare.net/isaacnajar/diseo-de-carga-por-fatiga-expo-1>)

En nuestro caso como:

$$\sigma_A > 2 \cdot \tau_A$$

$$\frac{1073,31}{d^3} > 0$$

En este caso, se puede ver el esfuerzo que domina y es la flexión, por lo tanto:

$$K_C = 1$$

Factor de temperatura

Se desprecia la temperatura como factor a tener en cuenta en este proceso, por tanto:

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad

Gracias a la Figura N°3.18, se ha determinado un 99% de confiabilidad, y por tanto:

$$K_e = 0,814$$

Confiabilidad%	Variación de transformación Z_a	Factor de confiabilidad K_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	3.091	0.814
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659

Figura 18-3: Factor de confiabilidad.

Fuente: (ver: <http://es.slideshare.net/isaacnajar/diseo-de-carga-por-fatiga-expo-1>)

Factor de entalla

El factor escogido para la entalla es:

$$K_f = 2$$

Con todos los factores ya definidos se puede encontrar la tensión límite a fatiga, y con esta posteriormente determinar el diámetro del eje.

$$\sigma_f = 0,75 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 565 = 72,435 MPa$$

Una vez que se tiene la tensión límite a fatiga, se puede calcular la σ_m^s .

$$\sigma_m^s = \frac{\sigma_F}{\frac{\sigma_{eq}^a}{\sigma_{eq}^m} + \frac{\sigma_f}{\sigma_F}}$$

$$\sigma_m^s = \frac{72,435 \cdot 10^6}{\frac{1772,31}{\frac{d^3}{800}} + \frac{72,435 \cdot 10^6}{310 \cdot 10^6}} = 29\,598 MPa$$

Una vez que se tiene σ_m^s , ya se puede calcular el diámetro gracias a la fórmula en la cual aparece el factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sigma_m^s}{\sigma_{eq}^m}$$

$$2 = \frac{29\,598 \cdot 10^6}{\frac{800}{d^3}}$$

De aquí se halla el diámetro, el cual es igual a:

$$d = 0,013m = 13mm$$

Por tanto si se redondea, se obtiene que el diámetro final del eje es de 15 mm y por tanto sí cumple con la hipótesis realizada para hallar K_b .

$$\text{diámetro de eje} = 15mm$$

El dimensionamiento y especificaciones del eje y discos de corte, se encuentra en el Anexo B.2

Una vez definido el diámetro y la longitud del eje, se realiza un estudio del comportamiento del eje triturador, a través de un análisis estático realizado por la herramienta SolidWorks. Para ello se coloca sobre el eje todas las fuerzas que actúan sobre él y se determina una sujeción fija en el extremo del eje.

Para el análisis estático se coloca sobre el eje todas las fuerzas que actúan sobre él, estas fuerzas son de 250 N cada una, la fuerza aplicada genera esfuerzos en el eje tanto de tracción como de momento. El esfuerzo generado por la fuerza hace tracción y los esfuerzos generados por el momento hacen tracción y compresión, estos esfuerzos pueden hacer fallar al elemento en algún punto crítico.

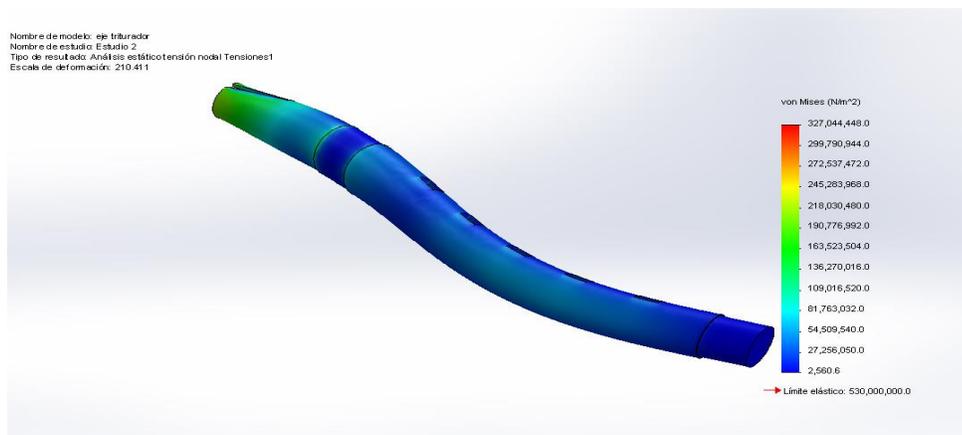


Figura 19-3: Análisis estático de Von Misses.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Viendo el análisis gráficamente de la Figura 19-3, se observa que el eje no presenta puntos críticos de fractura, los esfuerzos que se generan son menores, por lo que se puede concluir que el diseño es el adecuado.

En la Figura 20-3, se analiza el comportamiento del eje al sufrir una deformación unitaria. La escala indica que el elemento diseñado soporta la deformación, por lo que el eje no sufre mayor daño.

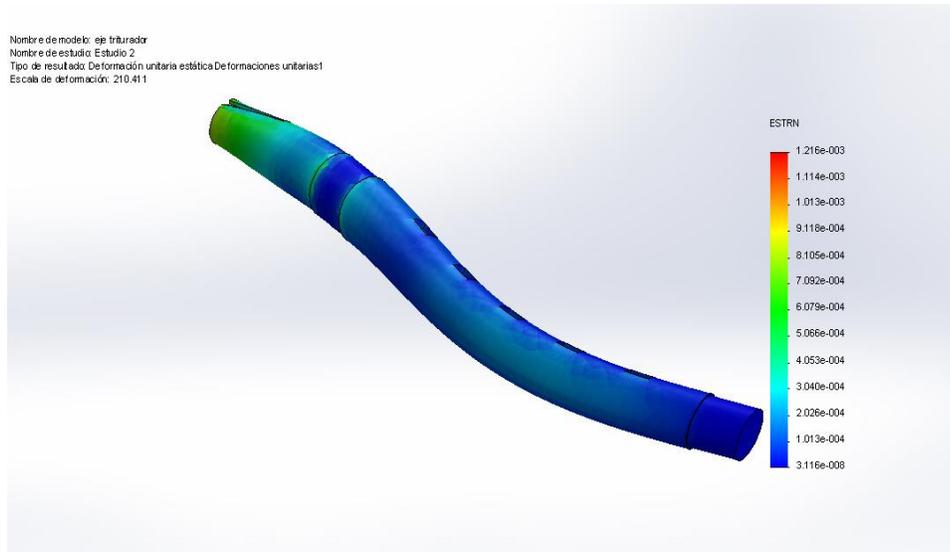


Figura 20-3: Análisis estático de deformación unitaria.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

3.3.4 *Cálculo y dimensionamiento del módulo de compactación.*

Para el diseño de este módulo se tomará en cuenta los requisitos que se establecen en la Tabla 37-3.

La mayoría de las extrusoras tienen diámetros comprendidos entre 2 y 90 cm (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012). Por lo que se selecciona un tubo que servirá como barril del extrusor de 63 mm de diámetro interior y 118 mm de diámetro externo disponible en el mercado como se indica en la Tabla del Anexo D.

Tabla 37-3: Requisitos para el dimensionamiento del módulo de compactación

<i>Características de la briqueta</i>	
Forma de las briquetas	Cilindro
Diámetro exterior de briquetas	50 mm
Diámetro interno del agujero de briquetas	15 mm
Longitud de la briqueta	200 mm (regulable para valores menores hasta 50 mm)
Capacidad de la máquina	50 briquetas/h \approx 23 kg / h.
Relación de compactación	10
Diámetro del tornillo	62 mm (0.5 mm de juego con el barril)
Tornillo compresor en la zona de alimentación	Diámetro = 62 mm y paso = 62 mm
Densidad de la materia prima (aserrín, astillas y viruta)	$397.5 \frac{kg}{m^3}$

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Diseño del tornillo compresor.

Los parámetros necesarios para la selección de un tornillo sin fin compresor se presentan en la siguiente Figura 21-3.

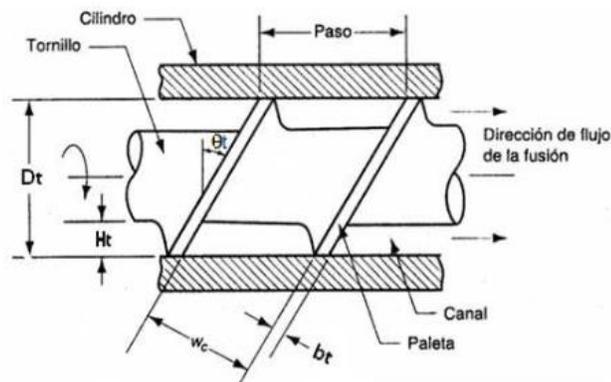


Figura 21-3: Geometría típica de un tornillo extrusor

Fuente:(Gómez & Villegas, 2011)

Siendo el diámetro interno del barril 63 mm, el diseño debe considerar un tornillo de 62 mm para tener 0.5 mm de holgura entre los dos. El eje del tornillo es de 32 mm de diámetro.

Con lo anterior se procede a calcular la variación del paso en el tornillo en la zona de compresión. Para la cual se necesita saber el volumen de aserrín en la zona de alimentación y en la zona de compresión.

Volumen alimentado de materia prima

El volumen del tramo de la zona de alimentación, V_a se obtiene con la siguiente expresión.

$$V_a = \frac{\pi}{4} \{(D_{ic})^2 - (D_e)^2\} \cdot \text{paso} \quad \text{Ecuación 12-3}$$

Dónde:

D_{ic} = Diámetro interno del barril, mm

D_e = Diámetro del eje del tornillo, mm

paso = Paso del tornillo en la zona de alimentación, mm

Por lo tanto:

$$V_a = \frac{\pi}{4} \{(63)^2 - (32)^2\} \cdot 62 = 1457188 \text{ mm}^3 = 0.00015 \text{ m}^3$$

Volumen en la zona de compresión

Al considerar que el volumen alimentado debe ser el mismo que el volumen en la zona de compresión se puede despegar el paso que se requiere en la zona de compresión (Figura N°3.22). En el Anexo E, existe algunos tipos de hélices que van de acuerdo al material a transportar.

Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.	
-------------------------	---	---

Figura 22-3: Hélice de paso variable

Fuente: (<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>)

$$V_c = \frac{\pi}{4} \{(63)^2 - (32)^2\} \cdot P_c = 2313P \text{ mm}^3$$

P_c = Paso en la zona de compresión.

V_c = Volumen en la zona de compresión.

Se asume que la relación de compresión es de 5. Por lo tanto:

$$5 = \frac{V_i}{V_c}$$

Ecuación 13-3

$$5 = \frac{145\,719}{2\,313P_c}$$

$$P_c = 13 \text{ mm}$$

Revoluciones del tornillo sin fin

Se sabe que la densidad del material de alimentación es aserrín y astillas que varían en su longitud entre 5 mm y 25 mm, respectivamente. Las densidades de aserrín y astillas están en valores promedio de 370 kg/m^3 y 425 kg/m^3 , respectivamente. (Patrocinante, Hernán, Ricardo, & Muñoz, 2003). Por lo que la masa del material transportado en una revolución completa de la zona de alimentación, se va a calcular promediando las dos densidades.

$$m = 397.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.46 \cdot 10^{-4} \text{m}^3 = 0.058 \text{ kg}$$

La eficiencia del transportador de tornillo es del 50%, entonces, la masa de material transportado en la zona de alimentación en una revolución es:

$$m = 0.058 \text{ kg} * 0.5 = 0.029 \text{ kg}$$

Volumen de la briqueta.

El volumen de la briqueta (V_b), se calcula a través de:

$$V_b = \frac{\pi}{4} \{(D_{eb})^2 - (D_{ib})^2\} \cdot L_b$$

Dónde:

D_{eb} = Diámetro externo de la briqueta

D_{ib} = Diámetro interno de la briqueta

L_b = Longitud de la briqueta

$$V_b = \frac{\pi}{4} \{(50)^2 - (15)^2\} \cdot 200 = 357356 \text{ mm}^3 = 3.57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Masa de la briqueta.

Si se tiene la densidad y el volumen, se calcula la masa de la briqueta

$$m_b = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3.57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0.46 \text{ kg}$$

Revoluciones para una briqueta.

El número de revoluciones requerido para hacer una briqueta corresponde al número de vueltas necesarias que se deben dar para lograr obtener la cantidad de aserrín y viruta.

$$N = \frac{\text{masa de la briqueta}}{\text{masa del material}} \quad \text{Ecuación 14-3}$$

$$N = \frac{0.46}{0.029} = 16 \text{ rev}$$

Número de briquetas en una hora.

Se estima tener una capacidad de producción de 50 briquetas por hora por lo que el flujo de masa es 23 Kg/h

Revoluciones necesarias en el tornillo

El tiempo requerido para una briqueta = $3600/50 = 72$ segundos

Se calculó las revoluciones necesarias para una briqueta que es de 51 revoluciones por lo que el tiempo requerido para realizar una revolución es:

$$\text{Revolución por segundo} = \frac{16 \text{ rev}}{72 \text{ s}} = 0.22 \text{ s} \frac{\text{rev}}{\text{s}} \quad \text{Ecuación 15-3}$$

$$\text{rpm} = 0.22 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 14 \text{ rpm}$$

De la Figura N°3.21, se presenta las características geométricas del tornillo:

b_t = ancho de pared del hilo, material: acero endurecido para resistir al desgaste entre el material y la pared del cilindro. 5mm

w_t = ancho de canal

H_t = profundidad de canal

r_m = radio medio, es la media de la altura del hilo y el diámetro del usillo

p_t = paso del tornillo 63 mm

El tornillo gira, las paletas empujan el material hacia adelante a través del canal desde la tolva hasta la salida. Los puntos clave de diseño de un extrusor están en la geometría de la entrada y en la salida del material comprimido. El diámetro de la paleta es de menor dimensión que el del cilindro D_t , el claro entre los dos es, H_{ct} de aproximadamente 0.5 mm. La función de este claro es limitar la fuga del aserrín hacia atrás.

El ancho de la pared se toma como 15.5 mm, debido a que se tiene disponible en el mercado barras perforadas de diámetro interno de 63mm y exterior de 112 mm.

El Ángulo de hélice (α) de la rosca ACME, se calcula como:

$$w = (\pi \cdot D_t \cdot \text{Tan}(\theta_t) - b_t) \cdot \text{Cos}(\theta_t) \quad \text{Ecuación 16-3}$$

$$\theta_t = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{p_t}{2 \cdot \pi \cdot r_m} \right)$$

$$r_m = \frac{D_t - H_t}{2}$$

p_t = Paso del tornillo

θ_t = ángulo de hélice

$$r_m = \frac{63 - 16}{2} = 15.5 \text{ mm}$$

$$\theta_t = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{63}{2 \cdot \pi \cdot 15,5}\right) = 0,57 \text{ rad} = 33^\circ$$

Potencia del motor.

Como el ángulo para los hilos Acme es de $\beta = 14.5^\circ$, entonces el coeficiente virtual de fricción, se calcula mediante:

$$\mu_1 = \tan\varphi_1 = \frac{\theta_t}{\cos\beta} \quad \text{Ecuación 17-3}$$

$$\mu_1 = \frac{0.57}{\cos(14.5)} = 0.59$$

Se sabe que la fuerza requerida para superar la fricción en el cilindro con el tornillo es igual a:

$$P = W \left[\frac{\tan\theta_t + \tan\varphi_1}{1 - \tan\theta_t \tan\varphi_1} \right] \quad \text{Ecuación 18-3}$$

En donde: W = carga axial ejercida por el tornillo.

La presión necesaria se saca de la Figura N°3.23, la cual compara la dureza de la briqueta con la presión aplicada. Para que una briqueta no se desintegre se selecciona una dureza superior a 90% y se toma una presión de 30 MPa.

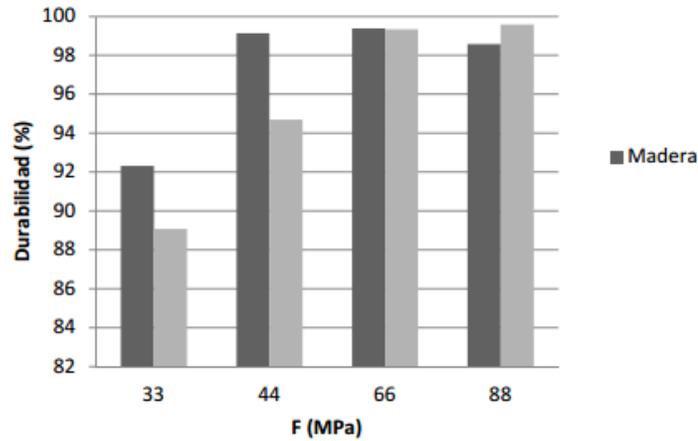


Figura 23-3: Dureza de briquetas conseguidas con distinta presión

Fuente: (Patente 2 540 681, 2015)

Con la presión de 30 MPa= 30 N/mm^2 , se calcula el área de la sección transversal de la briqueta:

$$A_b = \frac{\pi}{4} \{(50)^2 - (15)^2\} = 1786.7 \text{ mm}^2$$

$$W = 30 \frac{N}{mm^2} * 1786.7 \text{ mm}^2 = 53603 \text{ N}$$

$$P = 53\ 603 \left[\frac{0.65 + 0.59}{1 - 0.65 * 0.59} \right] = 107814 \text{ N}$$

En la última vuelta se necesita una presión ejercida en un área cuyo diámetro es:

$$d = d_o - \frac{p}{2}$$

$$d = 63 - \frac{13}{2} = 55.5 \text{ mm}$$

El torque necesario es igual a

$$T = P * \frac{d}{2}$$

Ecuación 19-3

$$T = 107\ 814 \text{ N} * \frac{55.5}{2} = 2\ 991\ 838 \text{ Nmm} = 2\ 991.83 \text{ Nm}$$

La potencia requerida es:

$$Pot = T * \omega = T \frac{2\pi N}{60}$$

Ecuación 20-3

$$Pot = 2\,991.83 * \frac{2\pi * 14}{60} = 4\,386.26\,W = 5.87\,Hp$$

A continuación se realizara el análisis estático, para verificar el comportamiento del tornillo, este elemento será sometido a fuerzas de presión y rozamiento por el material que va a transportar.

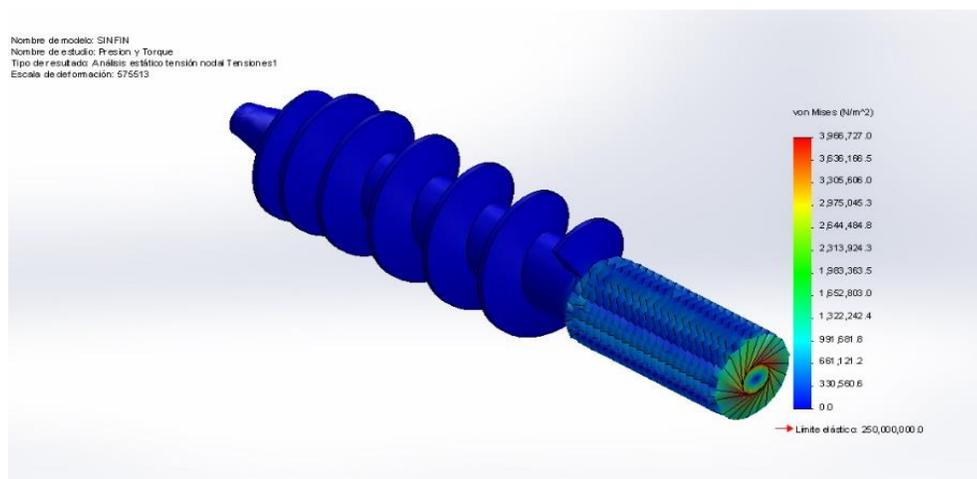


Figura 24-3: Análisis de Von Misses en tornillo sin fin.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

Gráficamente se puede observar en la Figura 24-3, el comportamiento del tornillo después de ser sometido a las tensiones máximas y mínimas. El límite elástico que proporciona el acero A36 está por debajo de la tensión máxima que puede sufrir el tornillo, el color rojo determina los puntos más propensos a fractura, mientras que el azul y el verde indica que existe un esfuerzo menor en la pieza, lo cual garantiza la eficiencia del diseño. El factor de seguridad mínimo es de 63 y esto se puede observar en la Figura 25-3.

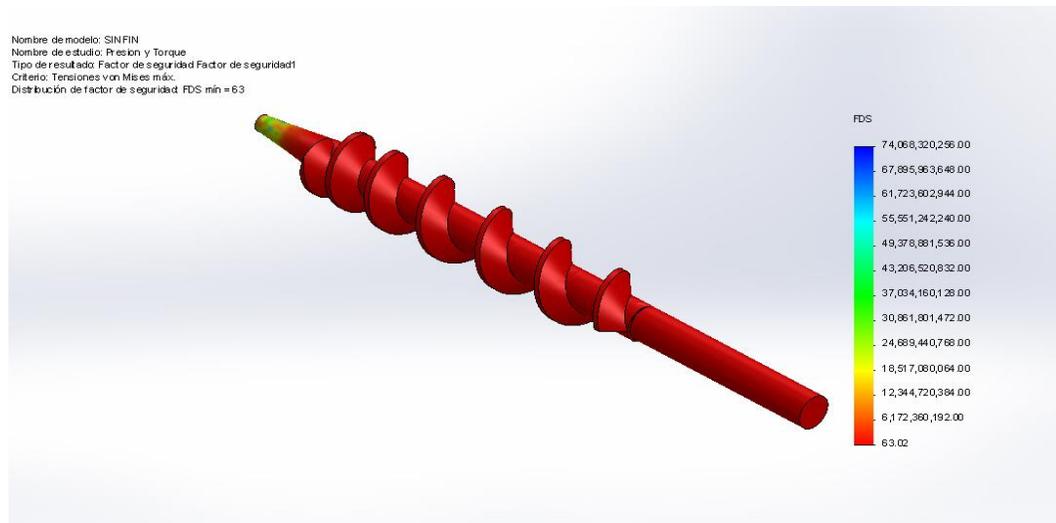


Figura 25-3: Análisis de FDS del tornillo sin fin.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

3.3.5 Cálculo y dimensionamiento del módulo de corte de la briqueta.

El corte de la briqueta es mediante un actuador eléctrico con una cuchilla montada en el extremo del cilindro (Figura 26-3).

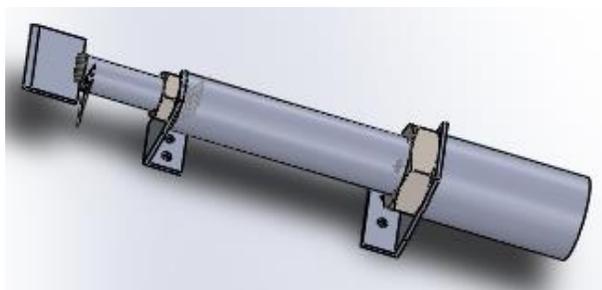


Figura 26-3: Actuador eléctrico.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

La fuerza de corte del cilindro es de 196 N que sería la suficiente para penetrar la briqueta, en forma de cizalla y conseguir una fractura frágil. (Kakitís, Nulle, & Ancans, 2010). Para dimensionar la cuchilla se considera el ancho del diámetro de la briqueta que es de 50mm, la cuchilla debe tener una arista cortante, esto se puede observar en la Figura 27-3.

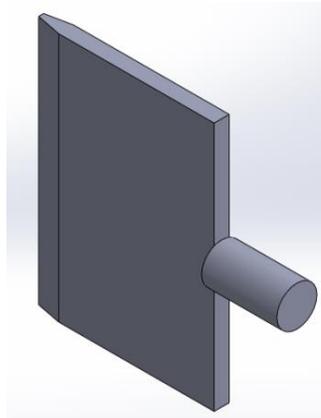


Figura 27-3: Cuchilla de corte

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

3.3.6 *Cálculo y dimensionamiento del módulo de recolección.*

El módulo de recolección comprende dos etapas de recolección. La primera se encarga de la recolección de los residuos de madera, esta etapa se la hace de forma manual, sé recolecta la materia prima que se encuentra en el extractor de polvos y se la coloca directamente en la tolva de alimentación (Figura 28-3).



Figura 28-3: Colector de vacío y tubos

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

La segunda etapa consiste en la recolección de las briquetas, esta se la hará a través un sistema que contiene una rampa que guía a la briketa para que caiga en un recipiente de almacenamiento (Figura 29-3).

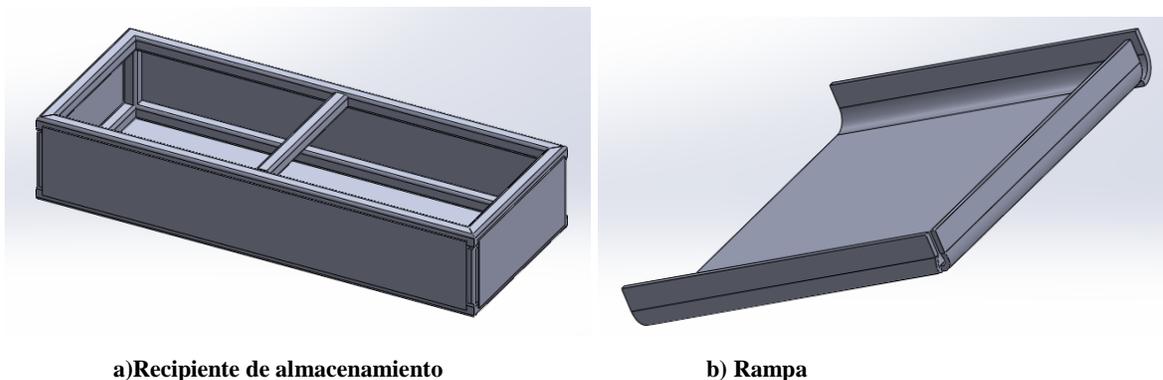


Figura 29-3: Recolección de briquetas: a) Recipiente de almacenamiento b) Rampa.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

El ancho del recipiente es igual a la mayor longitud de briketa que se va conseguir (200 mm). La longitud de la bandeja es para almacenar dos filas de 14 briquetas. (Figura 30-3).

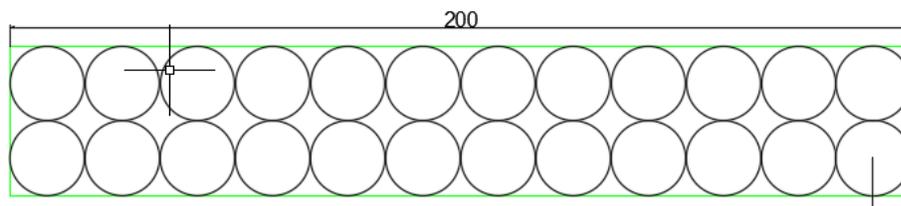


Figura 30-3: Longitud del recipiente.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

3.3.7 *Cálculo y dimensionamiento estructural.*

Para dimensionar la estructura de la máquina se debe considerar el peso y la fuerza que ejercen los módulos de la máquina y los motores de los sistemas. El diseño estará basado en base a estos parámetros y al tipo de material que soporte estas cargas.

Se realiza el análisis estático de las cargas que actúan sobre la estructura (Figura N°3.31), para determinar las posibles deformaciones que puede sufrir y tomar las mejores decisiones antes del diseño final. Con la ayuda de la herramienta de Simulation Xpress, se puede predecir cómo se comportara la estructura al aplicar una carga distribuida de los pesos de los motores y de los módulos que componen la máquina.

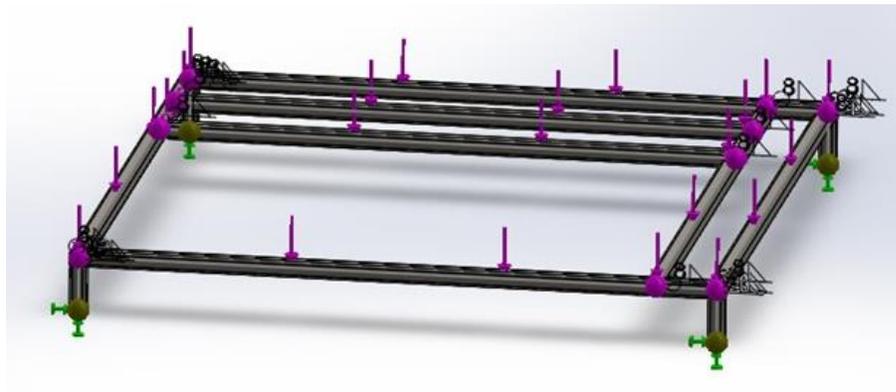


Figura 31-3: Cargas sobre la estructura

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

Para el análisis se determinó una carga distribuida de 3000 N, tipo de sujeción fija empotrada al suelo y se consideró como vigas a los miembros de la estructura. La Figura 32-3. , muestra los resultados de los esfuerzos de tensión axial y de flexión.

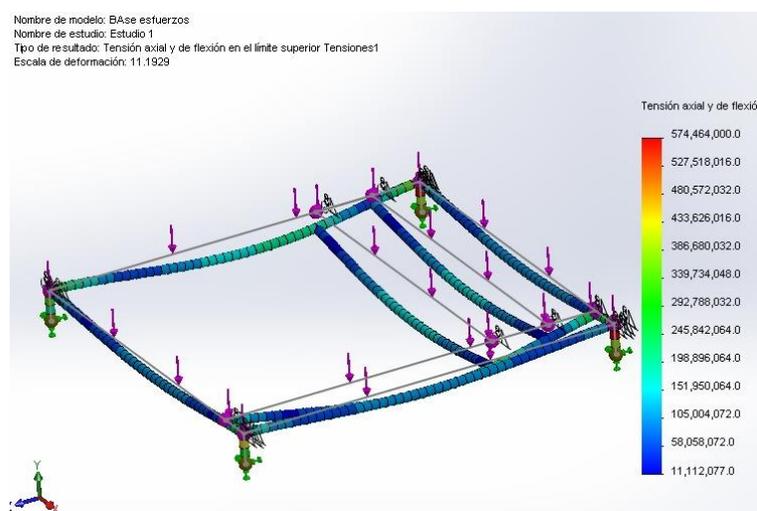


Figura 32-3: Análisis de tensión axila y de flexión.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

Como resultado de la simulación se obtiene una barra de colores, la cual ayuda a interpretar el comportamiento de la flexión en la estructura, el color rojo determina la porción de la estructura que está sometida a tensión y el color azul indica la porción de la estructura que está sometida a compresión.

Se determinó un factor de seguridad igual a 2 para garantizar el diseño, por lo cual la carga actuara al doble de la fuerza y su comportamiento será como el que se observa en la Figura N°3.33.

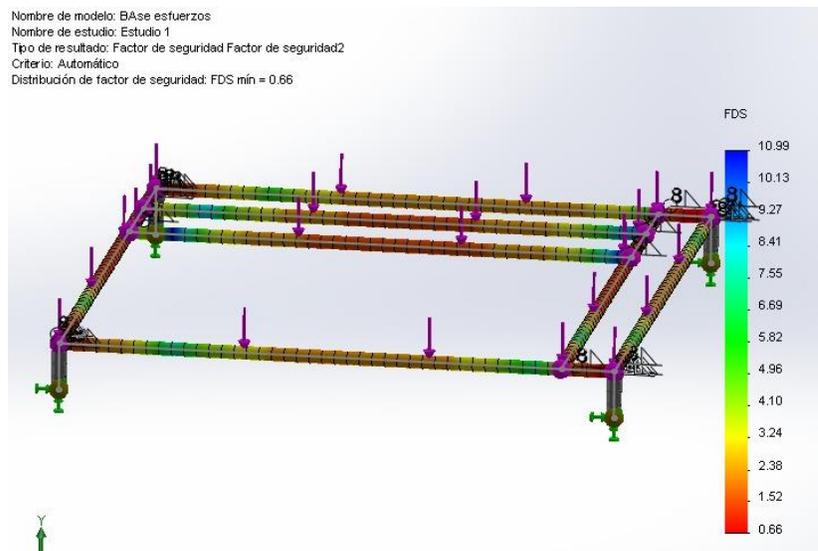


Figura 33-3: Factor de seguridad

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

3.4 Sistema de control automático.

El objetivo de este apartado, es diseñar una propuesta de un sistema de control automático para la máquina briquetadora, con el fin de aumentar el nivel de producción de las briquetas, reduciendo los tiempos de producción y asegurando un producto de calidad que cumpla con los requerimientos del cliente. A la vez que al ser un sistema autónomo, permita la reducción de la mano de obra humana, evitando el cansancio físico y tiempos de producción excesivamente largos.

Para cumplir con el objetivo, se propone realizar un circuito de control por medio de la implementación de un controlador lógico programable (PLC), el cual permita activar el circuito de fuerza que comandara la máquina.

3.4.1 *Circuito de fuerza.*

El circuito de fuerza permite entregar la potencia, voltaje o corriente que necesita el motor para arrancar. Además contiene las conexiones eléctricas de los componentes con mayor demanda energética, en este caso contendrá las conexiones de los motores trifásicos que activarán al módulo de trituración y al módulo de compactación a través de la activación del tornillo sin fin.

De acuerdo a la norma IEC 60947 y tomando todas las consideraciones necesarias para el funcionamiento de la máquina, se ha construido el diagrama del circuito de fuerza, el cual se puede ver con más detalle en el Anexo F.

3.4.2 *Circuito de control con PLC.*

Actualmente todo lo que nos rodea tiende a automatizarse, empleando para ello sistemas de control secuencial, por lo tanto se propone la implementación de un controlador lógico programable, que constituya la base de la automatización para gobernar la máquina briquetadora.

Para el circuito de control secuencial, las entradas que se utilizarán serán: pulsadores de marcha, paro de emergencia, sensores, fines de carrera, protecciones para el circuito de fuerza y para las salidas se contará con: contactores para arranque y paro del motor, pilotos de señalización o lámparas.

En el Anexo F, se puede observar el diagrama del circuito de control implementado para el funcionamiento de la briquetadora.

3.4.3 *Selección de elementos y dispositivos.*

Con el fin de integrar los sistemas de la briquetadora y facilitar la posterior implementación de la máquina, se procede a seleccionar los elementos y/o dispositivos eléctricos y electrónicos más importantes que constituyen la parte fundamental para la operación de la máquina.

3.4.3.1 Motores reductores trifásicos.

La selección de los motores reductores se hace en base a los cálculos obtenidos en los apartados 3.3.3 y 3.3.4 del diseño. En la Tabla N°3.38 y Tabla N°3.39, se encuentra los parámetros de torque, potencia y rpms, que se debe considerar al momento de elegir al motor.

Tabla 38-3: Parámetros del motor reductor para la trituradora

Criterios	Motor reductor para la trituradora	Motor reductor del tornillo sin fin
Torque	65 Nm	2991.83 Nm
Potencia	687 Watts	43250.6 Watts
RPM	100 rpm	14 rpm

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

De acuerdo a catálogos que se pueden observar en el Anexo G, se realiza la selección de los motores reductores que se puede encontrar en casas comerciales locales. Estas características se presentan en la Tabla N°3.39.

Tabla 39-3: Selección de los motores reductores.

Criterios	Motor reductor para la trituradora	Motor reductor del tornillo sin fin
Torque	65 Nm	3493 Nm
Potencia	0.75 Kw	7.5 Kw
RPM	100 rpm	4.5 RPM

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017

3.4.3.2 Sensores.

Para la elección de los sensores que ayudará al proceso de automatización de la máquina, se ha elegido tres tipos, esto debido a las funciones que realizara cada uno de ellos.

- Sensor de nivel
- Sensor para detección de objetos
- Interruptor final de carrera

Los criterios que se consideran para la elección de un sensor de nivel son:

1. Detección de sólidos.
2. Detección para una densidad de $397.5 \frac{kg}{m^3}$.
3. Voltaje de alimentación de 24 v.
4. Fácil implementación.
5. Las mediciones no deben ser afectadas por las propiedades físicas del medio.
6. Disponibilidad en el mercado.
7. Material resistente.

Tabla 40-3: Selección del sensor de nivel.

Criterios de selección	Sensor de Nivel		
	Interruptor vibratorio	Interruptor de paleta rotativa	Sensor ultrasónico
	SITRANS LVS200	SITRANS LPS200	Pointek ULS200
			
Detección se sólidos	1	1	1
Detección para una densidad de $397.5 \frac{kg}{m^3}$	1	1	1
Voltaje de alimentación de 24 v	1	1	1
Las mediciones no deben ser afectada por las propiedades físicas del medio	1	1	1
Fácil implementación	1	1	1
Disponibilidad en el mercado	0	1	1
Material resistente	1	1	0
Total	6	7	6
Ponderación:	0: No cumple con el criterio		1: Cumple con el criterio

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Luego de establecer los criterios de evaluación, se crea una matriz morfológica la cual sirve como medio de evaluación para seleccionar la mejor opción que cumpla con los parámetros establecidos. Se presenta tres alternativas de sensores de nivel en la Tabla N°3.40, cada alternativa será evaluada con un puntaje que este en el rango de 0-1, así se establecerá que la alternativa que tenga mayor porcentaje sea la solución ganadora.

Luego de realizar la evaluación de criterios a través de la ponderación de 0 y 1, se establece que el interruptor de paleta rotativa cumple con los criterios establecidos para las funciones que debe realizar el sensor dentro de la tolva.

La ubicación del sensor dentro de la tolva, se puede observar en el Anexo B1.

Los criterios a evaluar para la selección del sensor de detección de objetos son:

1. Detección de sólidos.
2. Fácil acoplamiento en perfiles redondos.
3. Aplicaciones industriales.
4. Voltaje de alimentación de 24v.
5. Fácil implementación.
6. Disponibilidad en el mercado.
7. Material resistente.
8. Larga vida útil.

Con estos criterios se procede a construir la matriz morfológica y realizar la evaluación de las alternativas. Esta evaluación se la puede observar en la Tabla 41-3.

De acuerdo a la evaluación realizada en la Tabla 41-3, se considera como la mejor solución la del sensor fotoeléctrico, puesto que esta cumple con todos los requerimientos que se han considerado para la implementación de un sensor de detección de objetos.

Tabla 41-3: Selección del sensor para detección de objetos.

Criterios de selección	Sensor para detección de objetos.		
	Sensor fotoeléctrico	Sensor Reflex para detección de objetos	Sensor ultrasónico
			
Detección se sólidos	1	1	1
Fácil acoplamiento en perfiles redondos.	1	0	0
Aplicaciones industriales	1	1	0
Voltaje de alimentación de 24 v	1	1	1
Fácil implementación	1	1	1
Disponibilidad en el mercado	1	1	1
Material resistente	1	1	1
Larga vida útil	1	1	1
Total	8	7	6
Ponderación:	0: No cumple con el criterio		1: Cumple con el criterio

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

La evaluación del interruptor final de carrera se hará de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Debe ser capaz de detectar la ausencia o presencia de un objeto.
2. Debe ser montado en una ubicación remota.
3. Su aplicación debe ser de tipo industrial.
4. Simplicidad en las conexiones.
5. Duración de vida muy elevada.
6. Precio y disponibilidad en el mercado.

Se procede con la construcción de la matriz morfológica de acuerdo a los criterios planteados y a las soluciones presentadas (Tabla 42-3).

Tabla 42-3: Selección de interruptor final de carrera.

	Interruptor Final de Carrera	
	Limit switch	Limit Switches
	L507	801-ASC17
Criterios de selección		
Debe ser capaz de detectar la ausencia o presencia de un objeto	1	1
Debe ser montado en una ubicación remota.	1	1
Su aplicación debe ser de tipo industrial.	1	1
Simplicidad en las conexiones.	1	1
Duración de vida muy elevada.	1	1
Precio y disponibilidad en el mercado.	1	0
Total	6	5
Ponderación: 0: No cumple con el criterio 1: Cumple con el criterio		

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

De la Tabla 42-3, se selecciona al interruptor limit switch L507, puesto que cumple con todos los requerimientos que se han establecido para el interruptor de final de carrera. Para más detalles de las características técnicas de los sensores, consultar el Anexo H.

3.4.3.3 Controlador lógico programable.

A continuación se realizará la selección del controlador lógico programable. Al ser este elemento considerado como el cerebro de toda la parte de la automatización y el encargado del procesamiento de la información, se debe considerar algunos criterios para hacer la selección correcta del dispositivo que se implementara en la máquina.

Estos criterios se basan en:

1. Determinar el número de E/S digitales.
2. Largo tiempo de vida útil.
3. Capacidad de ampliación.
4. Software incluido con la compra del PLC.
5. Simplicidad en la programación.
6. Precio accesible.
7. Servicio y refacciones

Tabla 43-3: Entradas y salidas del PLC

E/S del PLC					
Entradas	Descripción	Dirección	Salidas	Descripción	Dirección
PM	Pulsador_Marcha	I:0/0	LI1	Led indicador_Nivel bajo de materia prima	Q:0/0
PE	Pulsador_Paro Emergencia	I:0/1	KM1	Contacto KM1_Motor trituradora	Q:0/1
LS1	Sensor_Nivel	I:0/2	KM2	Contacto KM1_Motor trituradora	Q:0/2
LS2	Sensor_Detección de objetos	I:0/3	LI2	Led indicador_Máquina operando	Q:0/3
LS3	Sensor_Fin de carrera	I:0/4	RE	Resistencia eléctrica	Q:0/4
Q1	Magno térmico _M1	I:0/5	AE	Actuador eléctrico	Q:0/5
Q2	Magno térmico _M2	I:0/6	LI3	Led indicador_Paro de emergencia	Q:0/6

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

De acuerdo a estos criterios se procede a definir el número de entradas y salidas que deberán ser conectadas al PLC. En la Tabla N°3.43, se presenta un resumen de las entradas y salidas que deberán ser conectadas a las entradas y salidas del dispositivo.

De acuerdo a la Tabla 43-3, se define a las entradas con la letra mayúscula I, y se determinan 7 entradas que deberán ser conectadas al PLC, por otro lado se define a las salidas con la letra mayúscula Q, y se definen 7 salidas para el proceso.

A continuación se realiza la selección del PLC (Tabla 44-3), de acuerdo a los criterios planteados en esta sección.

Tabla 44-3: Selección del controlador lógico programable.

	Controlador Lógico Programable (PLC)	
	PLC XC Series XC3	SIMATIC S7-200
Criterios de selección		
Número min de E/S: Entradas: 7 Salidas:7	1	1
Largo tiempo de vida útil	0	1
Capacidad de ampliación	0	0
Simplicidad en la programación.	1	1
Cantidad de programas que puede manejar	1	1
Precio accesible	1	1
Servicio y refacciones	1	1
Total	5	6
Ponderación:	0: No cumple con el criterio	1: Cumple con el criterio

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Se hace un análisis de la Tabla N°3.44, para verificar cuál de las dos alternativas cumple con los requerimientos propuestos para la selección del controlador, y el resultado sugiere la implementación de un controlador lógico programable de la marca SIMATIC S7-200.

En el Anexo I, se puede observar más características del PLC.

3.4.3.4 Cilindro eléctrico.

La selección del cilindro eléctrico, se hace en base a los siguientes criterios.

1. Velocidad baja de avance
2. Carrera corta
3. Alimentación de 24 v.
4. Peso máximo de carga de 3 kg aproximadamente.

De acuerdo a estos criterios se plantea las siguientes alternativas, las mismas que se encuentran en la matriz morfológica de la Tabla N°3.45.

Tabla 45-3: Selección del actuador eléctrico.

Criterios de selección	Actuador eléctrico		
	Cilindros eléctricos LZ	Actuadores eléctricos de correa	Actuadores eléctricos de carrera corta
			
Velocidad baja de avance	1	1	1
Carrera corta	1	0	1
Alimentación de 24v	1	0	1
Peso máximo de carga de 3kg aproximadamente	0	0	1
Total	3	1	4
Ponderación: 0: No cumple requisito 1: Cumple requisito --- = No aplica			

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

De acuerdo al análisis realizado de la Tabla N° 3.45, se sugiere un actuador eléctrico de carrera corta para que cumpla las funciones del elemento de corte. Las características del actuador que se ha seleccionado se encuentran en el Anexo J.

3.4.3.5 Resistencia eléctrica.

La selección de la resistencia eléctrica se realiza en base a los elementos que se encuentran en el mercado y que son de fácil disponibilidad,

Uno de los criterios más importantes al momento de seleccionar la resistencia eléctrica (Figura N°3.34), es el diseño del diámetro del tubo en el que se va a montar la resistencia para evitar problemas al momento de acoplarla al tubo.

De acuerdo a catálogo se selecciona la resistencia que se encuentra en la Figura 34-3.



Figura 34-3: Resistencia tipo banda

Fuente: (<http://www.tempeco.com/BODYPAGES/Products.pdf>)

Las características de la resistencia eléctrica se encuentran en el Anexo K.

3.5 Integración de Sistemas.

Una vez que se ha definido cada uno de los módulos de la que estará compuesta la máquina y se ha seleccionado los elementos eléctricos – electrónicos y de control, se procede a integrar cada una de las partes con el fin de formar un sistema completo a través de estos componentes, permitiendo así

hablar de que se ha creado un sistema mecatrónico que ayuda a la formación de productos ecológicos como son las briquetas de biomasa de serrín y viruta.

Finalmente se presenta la integración de los sistemas que forman parte de la máquina, los cuales darán lugar a la creación de un sistema autónomo. En la Figura N°3.35, se muestra el diseño final de la máquina con todas sus partes mecánicas, eléctricas/ electrónicas y de control.

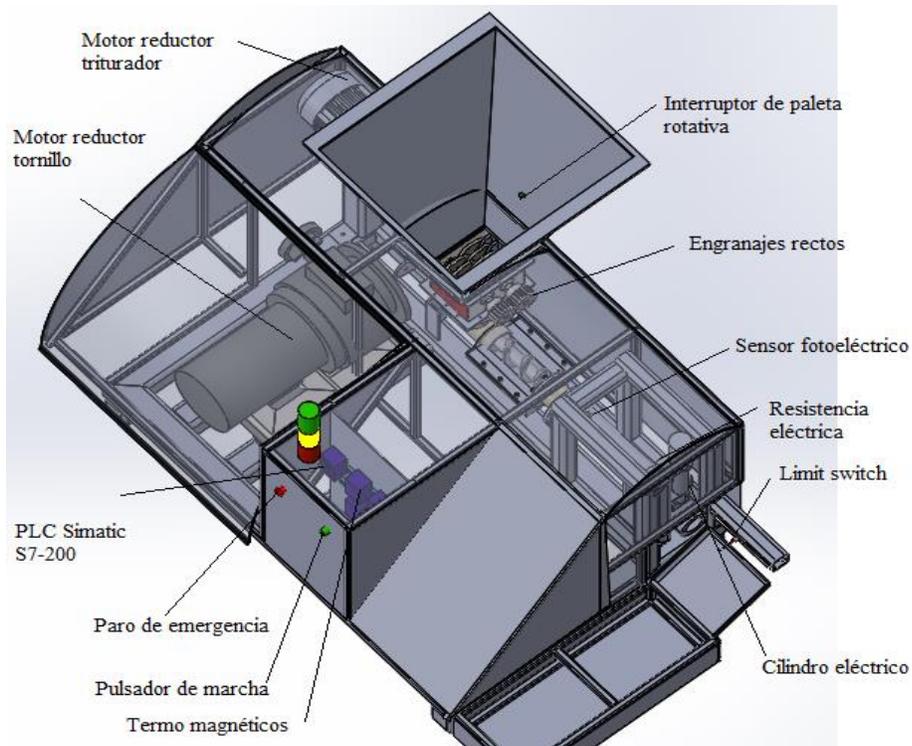


Figura 35-3: Integración de sistemas en la briquetadora.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Visualizar el Anexo B6, en él se observan los detalles de la integración de la máquina.

Una vez que se ha realizado la integración de las partes que constituyen la máquina briquetadora, se procede a la construcción de la Tabla 46-3, en ella se define los parámetros técnicos con lo que quedará especificada la máquina briquetadora.

Tabla 46-3: Parámetros técnicos de la máquina briquetadora.

Parámetros técnicos de la máquina briquetadora		
N.-	Descripción	Parámetro
1	Capacidad de producción	50 briquetas/h = 23kg/h
2	Diámetro de la briqueta	50 mm
3	Longitud de la briqueta	200mm (regulable para tamaños menores de hasta 50mm)
4	Material de las briquetas	Aserrín y viruta
5	Peso de la briqueta, Kg	0.46
6	Moto reductor del eje, KW	0.75
7	Velocidad de rotación del eje, rpm	100
8	Moto reductor del tornillo, KW	7,5
9	Velocidad de rotación del tornillo, rpm	14
10	Capacidad de almacenamiento de briquetas	28
11	Sistema de control	PLC Siemens S7-200
12	Sensor de nivel	Interruptor de paleta rotativa SITRANS LPS200
13	Sensor para detección de objetos	Sensor fotoeléctrico O6T200
14	Interruptor final de carrera	Limit switch L507
15	Actuador eléctrico	Actuador eléctrico de carrera corta Serie LZ
16	Temperatura máxima en la resistencia eléctrica	300 °C
17	Voltaje de alimentación	220v
18	Tamaño de la máquina	0.93*1.17*1.05 m
19	Peso de la máquina, Kg	700
20	Material estructural	Acero A36

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

3.6 Simulación de sistemas.

3.6.1 Simulación del sistema mecánico.

Con el fin de verificar la correcta implementación del sistema mecánico de la máquina, se procede a simular la parte mecánica del módulo de trituración a través del movimiento de los ejes y cuchillas.

A través del software SolidWorks y su herramienta SolidWorks Motion, se procede a la conexión del motor que activa al eje conectado al engranaje recto para transmitir movimiento al segundo engranaje y hacer mover al eje número 2, de esta manera se transmite el movimiento a las cuchillas y a los ejes.

En la Figura 36-3, se puede observar la flecha roja que indica la dirección de giro del motor, esta se encuentra en sentido horario y a una velocidad de 100 rpm

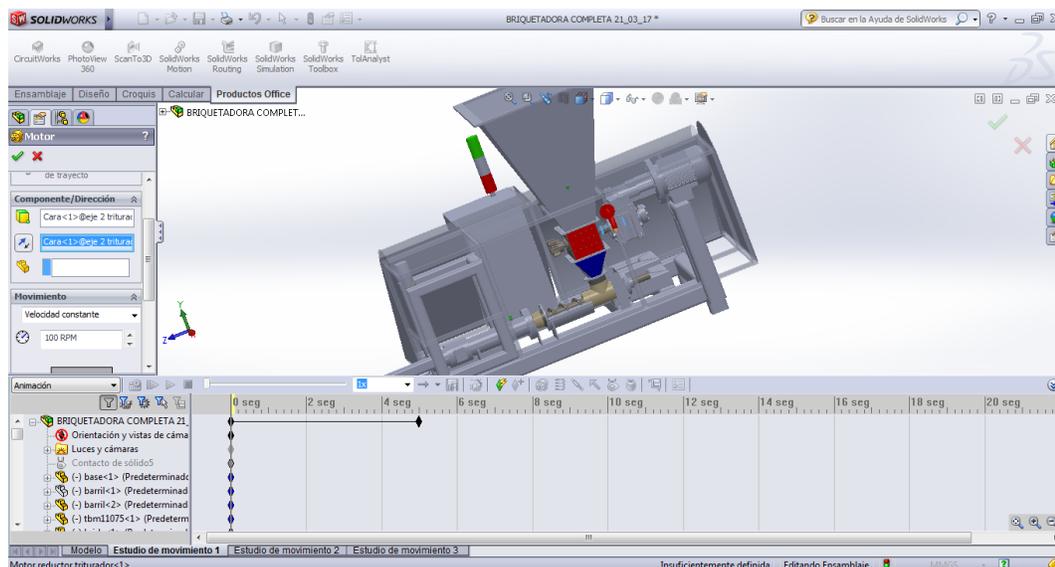


Figura 36-3: Determinación de parámetros para el motor del eje.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

De la misma manera se conecta el motor que activara al tornillo de extrucción, se determina la relación entre el eje y la cara de la chumacera, la dirección de giro, las rpms calculadas a 14 rpms y el tiempo de simulación (Figura 37-3).

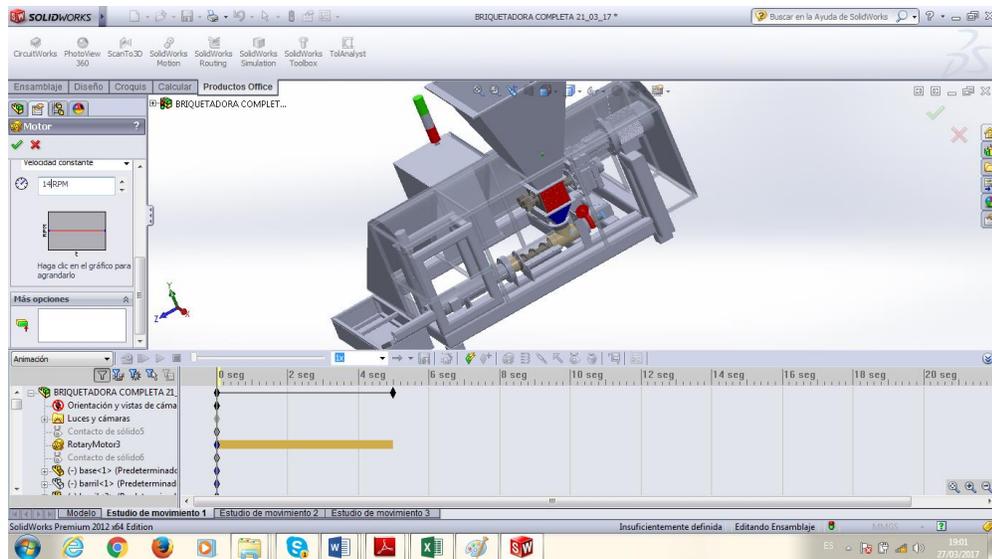


Figura 37-3: Determinación de parámetros para el motor del tornillo.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Una vez definido todos estos parámetros se simulan el comportamiento del eje y del tornillo. En la Figura N°3.38, se visualiza la ventana de parámetros que se han de llenar con el fin de conseguir la simulación de los motores pertenecientes a la máquina briquetadora.

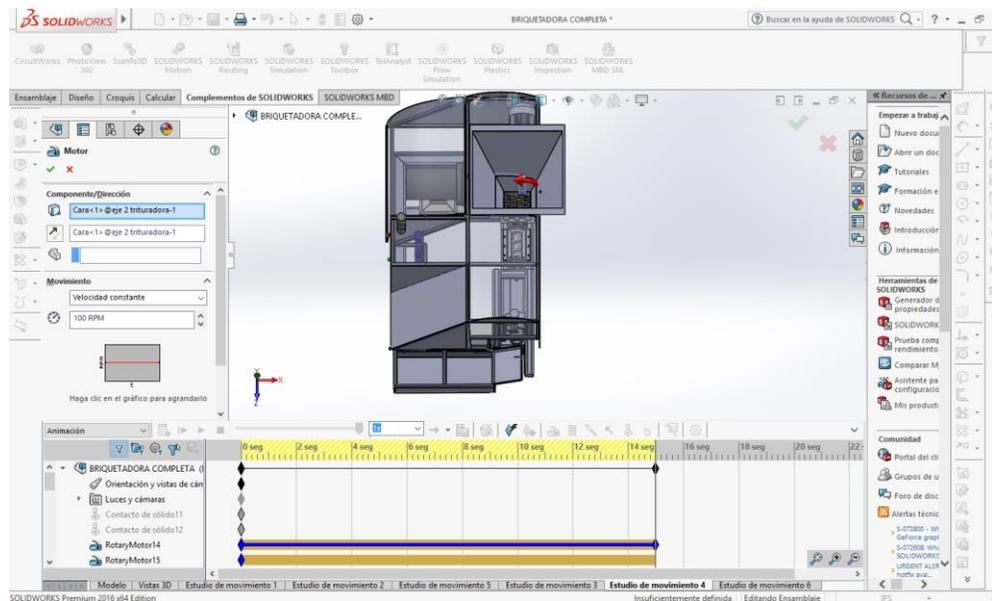


Figura 38-3: Simulación del movimiento del eje y tornillo.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Con la simulación de los sistemas más críticos de la máquina se puede observar si existen colisiones entre los sistemas que forman parte de la briquetadora. Con la ayuda de SolidWorks Motion, se ha comprobado que el sistema mecánico funciona correctamente.

3.6.1 Simulación del sistema de control

Para la simulación del sistema de control es necesario entender cómo se comporta el controlador lógico programable, para lo cual se ha diseñado un graficet (Figura 39-3), este método ayuda a describir la evolución del proceso a automatizar. Las acciones deben cumplir una condición para que pasen de una a otra etapa.

El graficet está diseñado para que trabaje en condiciones normales, pero como medida de seguridad se ha implementado en el diagrama escalera las protecciones térmicas, y el apagado de la máquina cuando el sensor de nivel detecte un nivel bajo de materia prima.

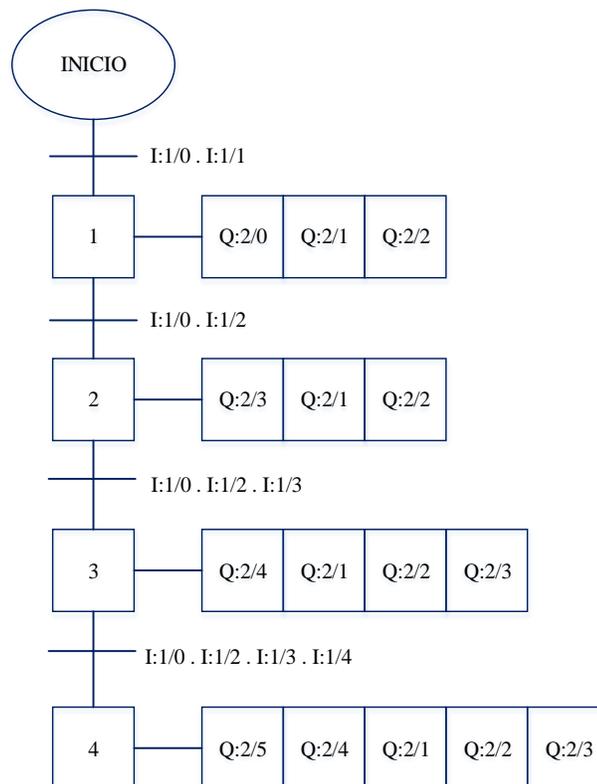


Figura 39-3: Graficet del PLC.

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

De forma breve se describe el comportamiento del PLC en condiciones normales. Se inicia con la energización del controlador y la puesta en modo RUN, al activar el pulsador de marcha, se activan los contactos KM1 y KM2 de los contactores que energizan a los moto reductores del eje del sistema de trituración y del tornillo extrusor. El sensor de nivel (interruptor de paleta rotativa), al detectar un bajo nivel de materia prima por la falta de censado del material, envía una señal de alerta a una lámpara indicadora.

La salida del indicador de nivel bajo de materia prima activa al temporizador, el temporizador comienza a contar el tiempo programado y al no existir detección de materia prima apaga al sistema; se quita el paso de energía a los elementos del sistema. Mientras el interruptor de paleta rotativa detecta la presencia de materia prima se activa una lámpara indicadora para indicar que la máquina está en operación.

En condiciones normales, la materia prima hace el recorrido por el sistema de trituración, cae sobre el tornillo de extrucción y transporta el material hasta la entrada de un tubo, en donde se encuentra el sensor infrarrojo, este elemento es el encargado de detectar la presencia de la briqueta para activar a la resistencia eléctrica que se encuentra montada en el tubo.

Al salir la briqueta por el extremo del tubo es conducida por una canal, al final del canal se encuentra un final de carrera, al entrar en contacto con la briqueta, activa la salida del actuador eléctrico para realizar el último paso de la automatización que es el corte de la briqueta. La programación en el diagrama escalera y la simulación, se encuentran en el Anexo L.

3.7 Validación de la Hipótesis.

Para la validación de la hipótesis se emplea una tabla de contingencia, esto con el fin de asociar las variables que intervienen en la hipótesis y determinar si las variables son dependientes, en este caso se habla de una hipótesis afirmativa, caso contrario si las variables son independientes la hipótesis será nula (De La Fuente. S., S/A).

En la Tabla .47-3, se muestra la tabla de contingencia, esta ha sido llenada en base a la encuesta realizada al personal de la empresa DECOSA CIA LTDA.

Tabla 47-3: Tabla de Contingencia

Aplicación del diseño concurrente	Sistema mecatrónico		Total
	Sistema inteligente	Integración del sistema mecánico, eléctrico-electrónico y de control	
Acorta el tiempo de desarrollo del producto	6	2	8
Incorpora la voz del cliente	3	1	4
Garantiza la calidad del producto	7	5	12
Incorpora técnicas y herramientas propias de la metodología.	5	1	6
Ayuda al descubrimiento temprano de problemas.	4	4	8
Total	25	13	38

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

Con el fin de probar la supuesta independencia de las variables se aplica el método estadístico del chi cuadrado, para lo cual se calcula las frecuencias esperadas en base a la tabla de contingencia.

$$F.E_1 = \frac{8 \cdot 25}{38} = 5.26$$

Ecuación 21-3

$$F.E_2 = \frac{8 \cdot 13}{38} = 2.73$$

$$F.E_3 = \frac{4 \cdot 25}{38} = 2.63$$

$$F.E_4 = \frac{4 * 13}{38} = 1.36$$

$$F.E_5 = \frac{12 * 25}{38} = 7.89$$

$$F.E_6 = \frac{12 * 13}{38} = 4.10$$

$$F.E_7 = \frac{6 * 25}{38} = 3.94$$

$$F.E_8 = \frac{6 * 13}{38} = 2.05$$

$$F.E_9 = \frac{8 * 25}{38} = 5.26$$

$$F.E_{10} = \frac{8 * 13}{38} = 2.73$$

A continuación se calcula los grados de libertad y se determina un nivel de confianza de 0.05.

$\alpha = 0.05$ (Nivel de confianza)

$$g1 = (2 - 1)(5 - 1) = 4$$

Ecuación 22-3

Una vez que se ha definido los grados de libertad y con un nivel de confianza del 5%, se consulta en la tabla del chi cuadrado (Figura 40-3) y se determina su valor.

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385

Figura 40-3: Distribución Chi Cuadrado

Fuente: (Barrera, 2006)

De la Figura 40-3, se obtiene: $\chi^2 = 9.48$.

Se plantea las hipótesis.

Ho: ¿La metodología integradora de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de una máquina briquetadora no permitirá crear un sistema mecatrónico para la producción de briquetas de serrín y viruta?

Hi= ¿La metodología integradora de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de una máquina briquetadora, permitirá crear un sistema mecatrónico para la producción de briquetas de serrín y viruta?

Por último se realiza el cálculo del chi cuadrado:

$$\chi_c^2 = \frac{(6 - 5.26)^2}{5.26} + \frac{(2 - 2.73)^2}{2.73} + \frac{(3 - 2.63)^2}{2.63} + \frac{(1 - 1.36)^2}{1.36} + \frac{(7 - 7.89)^2}{7.89} + \frac{(5 - 4.1)^2}{4.1} + \frac{(5 - 3.94)^2}{3.94} + \frac{(1 - 2.05)^2}{2.05} + \frac{(4 - 5.26)^2}{5.26} + \frac{(4 - 2.73)^2}{2.73}$$

Ecuación 23-3

$$\chi_c^2 = 0.54 + 0.53 + 0.64 + 0.2 + 0.95 + 1.32 + 1.12 + 1.1 + 1.58 + 1.61$$

$$\chi_c^2 = 9.59$$

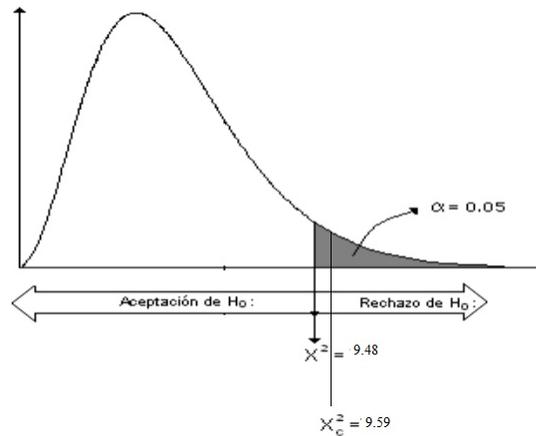


Figura 41-3: Áreas de aceptación y rechazo.

Fuente: (Barrera, 2006)

De acuerdo al valor obtenido y a la Figura N° 3.1, se rechaza la hipótesis nula.

Con un nivel de confianza del 95% se puede afirmar q la metodología de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de una máquina briquetadora si garantiza crear un sistema mecatrónico para la producción de briquetas de serrín y viruta, por lo tanto las variables son dependientes.

3.8 Presupuesto del proyecto.

Con el fin de establecer un presupuesto aproximado al que llegaría la implementación de la máquina, se realiza una cotización de las partes, piezas y elementos que forman parte de la máquina.

En la Tabla 48-3, se presenta un presupuesto estimado con los costos de los elementos y piezas. El total del presupuesto bordea los 7000,00 dólares.

Este valor ha sido comparado con precios de máquinas que se fabrican fuera del país. El precio de una máquina briquetadora se encuentra en un valor de \$5000 a \$8000 dólares dependiendo su capacidad de producción, al ser importada se debe añadir a su valor el costo por impuestos, lo que

hace que la máquina eleve su precio, lo cual hace que resulte factible la implementación y construcción de la máquina briquetadora propuesta en este proyecto.

Tabla 48-3: Presupuesto del proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor final
1	Estructura metálica	1	4959,00	4959,00
3	Sensor fotoeléctrico	1	669,00	669,00
4	Interruptor de paleta rotativa	1	277,68	277,68
5	Final de carrera	1	165,0	165,00
6	PLC SIMATIC S7 200	1	325,00	325,00
7	Actuador eléctrico	1	88,02	88,02
8	Resistencia eléctrica	1	78,15	78,15
9	Elementos varios	1	300,00	300,00
TOTAL				6861,85

Realizado por: GALLO, Verónica, 2017.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Mediante la aplicación de la metodología integradora de la ingeniería concurrente, se ha diseñado una máquina briquetadora cuyo fin es la producción de briquetas de serrín y viruta; producto que puede ser utilizado como una fuente energética de combustión. Con la implementación de esta metodología se logró reducir los tiempos de desarrollo en el diseño y se creó una máquina que a través de la implementación, pueda ser competitiva en el mercado.
- La implementación del diseño concurrente en la máquina briquetadora, permitió la creación de un sistema mecatrónico, puesto que se analizó de manera conjunta todas las etapas que forman parte de la máquina, así también se definió las partes y funciones que integra cada una de las partes mecánicas, eléctricas- electrónicas y de control.
- Los parámetros de diseño de la máquina, fueron establecidos a través de la implementación de la herramienta QFD (Despliegue de la Función de la Calidad), esta herramienta permite transformar las necesidades del cliente en parámetros o requerimientos de diseño.
- Se realizó la integración sistemática y simultánea del módulo de almacenamiento, trituración, compactación, corte y almacenamiento, así como también la implementación de los sensores, moto reductores, controlador lógico programable y todo aquel elemento que forma parte de la máquina, con ayuda del software SolidWorks.
- La modelación y simulación de los sistemas y subsistemas de la máquina se han realizado a través de herramientas como SolidWorks, esta herramienta ha permitido realizar análisis estáticos para determinar los comportamientos de las piezas más críticas del diseño de detalle que facilitan entender el comportamiento de los sistemas o procesos. De igual manera se ha utilizado el software S7 PLCSIM, para entender el comportamiento del controlador lógico programable.

- Se realizó la selección del sensor de paleta rotativa, infrarrojo y final de carrera, así como también el controlador lógico programable, responsable del control de todo el sistema. Una resistencia eléctrica tipo banda y un actuador eléctrico. Todos estos elementos fueron seleccionados en base a estándares de calidad y disponibilidad en el mercado con el fin de implementar un sistema de control automático de fácil implementación.

4.2 Recomendaciones.

- Se recomienda analizar y estudiar la posibilidad de la implementación de la máquina briquetadora en los sectores madereros, especialmente en las fábricas que presentan un alto grado de acumulación de desperdicios de aserrín y viruta.
- Estudiar e investigar sobre las aplicaciones del diseño mecatrónico en las aplicaciones de las industrias, con el fin de entender la importancia de la creación de un sistema mecatrónico.
- Investigar y analizar sobre las aplicaciones de las herramientas propias de la Ingeniería Concurrente, con el fin de estudiar si es factible la aplicación del QFD y su herramienta de la casa de la calidad en el estudio del diseño de la máquina.
- Se recomienda revisar los planos de detalle de la máquina briquetadora en caso de la posibilidad de la implementación de la misma, en el plano se encuentran todos los detalles que faciliten la construcción e implementación.
- Investigar sobre otros softwares que ayuden a analizar el comportamiento predictivo de los elementos que forman parte de la máquina, con el fin de detectar posibles errores de diseño en las partes y piezas o en el funcionamiento de la briquetadora.
- Revisar y continuar el estudio de la automatización de la máquina, con el fin de lograr un proceso completamente automático de fabricación de briquetas de biomasa, se propone estudiar la posibilidad de automatizar el sistema de alimentación de materia prima, así como el de recolección y almacenamiento del producto.