



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DOSIFICADOR DE  
BIOMASA FORESTAL PARA GASIFICADOR TIPO  
DOWNDRAFT UBICADO EN EL LABORATORIO DE TÉRMICAS  
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR  
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**FONSECA PEREZ JUAN CARLOS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

---

# **CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-12-07

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparada por:

**FONSECA PEREZ JUAN CARLOS**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DOSIFICADOR DE BIOMASA  
FORESTAL PARA GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT UBICADO EN EL  
LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez.  
**DIRECTOR**

---

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes.  
**ASESOR**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** FONSECA PEREZ JUAN CARLOS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DOSIFICADOR DE BIOMASA FORESTAL PARA GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT UBICADO EN EL LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

**Fecha de Examinación:** 2017-11-29

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Juan Carlos Fonseca Pérez

C.I. 1803917903

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Yo, Juan Carlos Fonseca Pérez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

Juan Carlos Fonseca Pérez  
C.I. 1803917903

## **DEDICATORIA**

A Dios, Gracias por caminar a mi lado durante este viaje.

A mis padres por soportar mi mal humor.

A mi hermana por sus consejos.

A mi Annie por ayudarme en todas mis locuras.

A mi abuelita por nunca dejarme solo.

Los amo a todos.

**Juan Carlos Fonseca Pérez**

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera agradecer a todos los que me ayudaron en mis logros académicos. En primer lugar, a mis padres quienes me apoyaron con amor y entendimiento. A mi hermana Caro y mi Annie por estar siempre pendientes. A mis amigos Rusbel, Jose, Hernán, Fierro, ya que con su ayuda pude superar muchos problemas en la universidad.

**Juan Carlos Fonseca Pérez**

# CONTENIDO

	Pág.
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 Justificación teórica.....	3
1.3.2 Justificación metodológica.....	4
1.3.3 Justificación práctica.....	4
1.4 Alcance.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 Diseño conceptual y metodológico.....	6
2.1.1 Conceptos de diseño mecánico.....	6
2.1.2 Evolución del diseño mecánico.....	7
2.1.3 Teoría de precedentes de diseño mecánico.....	8
2.1.3.1 Actividades de diseño y desarrollo de máquinas.....	8
2.1.4 Tendencias y herramientas para el desarrollo del diseño mecánico.....	12
2.1.5 Metodología del diseño del sistema de dosificación de sólidos.....	13
2.1.6 Manejo de materiales.....	16
2.1.6.1 Biomasa forestal.....	16
2.1.6.2 Tipos de biomasa.....	17
2.1.7 Proceso de gasificación.....	19
2.1.7.1 Termoquímica de los procesos de gasificación.....	20
2.1.7.2 Clasificación de los procesos de gasificación.....	22
2.1.8 Gasificador de flujo descendente (DOWNDRAFT).....	22
2.1.9 Dosificador.....	23
2.1.9.2 Tipos de dosificadores.....	23
2.2 Estudio de Proyectos.....	27
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>30</b>
3.1 Determinación de las especificaciones de la máquina.....	30

3.1.1	La matriz QFD (Quality function deployment).....	30
3.1.2	Voz del usuario (VOC).....	31
3.1.3	Voz del ingeniero.....	32
3.1.4	Resultados de la matriz QFD.....	32
3.1.5	Conclusiones de la matriz QFD.....	34
3.2	Análisis funcional.....	36
3.3	Alternativas de solución para la máquina.....	38
3.3.1	Sistema de variación de velocidad.....	39
3.3.1.1	Motor y reductor de velocidad.....	39
3.3.1.2	Motoreductor.....	40
3.3.2	Sistema de dosificación.....	40
3.3.2.1	Dosificación mediante gravedad.....	41
3.3.2.2	Dosificación horizontal de tornillo sin fin.....	41
3.3.2.3	Dosificación horizontal de banda transportadora.....	42
3.3.3	Sistema de almacenamiento.....	43
3.3.3.1	Sistema de almacenamiento con tolva.....	44
3.3.3.2	Sistema de almacenamiento con tolva y mezclador.....	44
3.3.4	Estructura.....	45
3.3.4.1	Estructura independiente.....	45
3.3.4.2	Estructura soldada al gasificador.....	45
3.4	Alternativas de módulos.....	46
3.4.1	Alternativa número uno.....	47
3.4.2	Alternativa número dos.....	47
3.5	Evaluación de soluciones.....	48
3.5.1	Método ordinal corregido de criterios ponderados.....	48
3.5.2	Criterios de valoración del módulo.....	48
3.5.3	Criterios de valoración del montaje en el gasificador tipo DOWNDRAFT,..	51
3.6	Diseño de la máquina dosificadora de biomasa.....	54
3.6.1	Diseño del tornillo sin fin.....	54
3.6.2	Dimensionamiento del tornillo.....	55
3.7	Diseño de la tolva.....	60
3.7.1	Selección del material.....	61
3.7.2	Requerimientos funcionales de la tolva.....	61
3.7.3	Espesor de plancha de la tolva.....	65
3.7.4	Análisis de la tolva según la teoría del esfuerzo cortante máximo.....	66

3.7.5	Dimensionamiento de cubierta de la tolva.....	67
3.8	Diseño del tubo exterior del transportador de tornillo sinfín.....	70
3.8.1	Diseño y selección de brida de acoplamiento al gasificador. ....	75
3.9	Diseño del eje central del dosificador de biomasa.....	81
3.9.1	Diseño estático .....	81
3.9.2	Material base del eje .....	83
3.9.3	Diseño a fatiga .....	84
3.9.4	Cálculo de cargas de la hélice.....	86
3.9.5	Selección de chumaceras .....	89
3.9.6	Selección de motoreductor y variador de frecuencia.....	90
3.9.7	Selección de acople entre el eje y motoreductor.....	93
3.9.8	Mecanismo compuerta de apertura de biomasa forestal.....	96
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE COSTOS.....</b>	<b>111</b>
4.1	Costos Directos .....	111
4.2	Costos Indirectos: .....	112
4.3	Costo Total: .....	113
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES: .....</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		
<b>PLANOS</b>		

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-3</b> Casa de la calidad. ....	33
<b>Tabla 2-3</b> Especificaciones técnicas de la máquina .....	35
<b>Tabla 3-3</b> Combinación de alternativas .....	46
<b>Tabla 4-3</b> Evaluación de cada criterio.....	49
<b>Tabla 5-3</b> Evaluación con respecto a la norma CEMA.....	50
<b>Tabla 6-3</b> Evaluación con respecto al precio .....	50
<b>Tabla 7-3</b> Evaluación con respecto a diferentes tipos de biomasa.....	50
<b>Tabla 8-3</b> Evaluación con respecto a la precisión.....	50
<b>Tabla 9-3</b> Evaluación con respecto a la carga admisible por el dosificador .....	51
<b>Tabla 10-3</b> Tabla de conclusiones respecto al módulo .....	51
<b>Tabla 11-3</b> Evaluación de cada criterio.....	52
<b>Tabla 12-3</b> Evaluación de la adaptación del dosificador con el gasificador .....	53
<b>Tabla 13-3</b> Evaluación con respecto a la precisión.....	53
<b>Tabla 14-3</b> Evaluación con respecto al precio.....	54
<b>Tabla 15-3</b> Conclusiones respecto al tipo de montaje del dosificador en el bioreactor	54
<b>Tabla 16-3</b> Abastecimiento de materia prima .....	62
<b>Tabla 17-3</b> Construcción Camis.....	99
<b>Tabla 18-3</b> Construcción Tornillo.....	101
<b>Tabla 19-3</b> Construcción Tolva .....	102
<b>Tabla 20-3</b> Composición de briquetas .....	107
<b>Tabla 21-3</b> Masa y consumo de briquetas.....	108
<b>Tabla 22-3</b> Comparación balance de masas .....	109
<b>Tabla 23-3</b> Comparación de eficiencia .....	110
<b>Tabla 24-4</b> Costos Directos Transportador .....	111
<b>Tabla 25-4</b> Costos Directos Tolva .....	111
<b>Tabla 26-4</b> Costos Elementos Eléctricos .....	112
<b>Tabla 27-4</b> Total Costos Directos .....	112
<b>Tabla 28-4</b> Costos Indirectos .....	113
<b>Tabla 29-4</b> Costo Total Dosificador .....	113

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2</b> Proceso de diseño.....	9
<b>Figura 2-2</b> Dimensionamiento en software DAC .....	15
<b>Figura 3-2</b> Dimensionamiento en software ANSYS .....	15
<b>Figura 4-2</b> Biomasa forestal.....	17
<b>Figura 5-2</b> Tipos de biomasa forestal .....	18
<b>Figura 6-2</b> Proceso de gasificación.....	20
<b>Figura 7-2</b> Esquema del proceso de gasificación .....	21
<b>Figura 8-2</b> Esquema del gasificador tipo Downdraft.....	23
<b>Figura 9-2</b> Transportador de tornillo .....	24
<b>Figura 10-2</b> Transportador de paletas .....	24
<b>Figura 11-2</b> Elevador de canjilones .....	25
<b>Figura 12-2</b> Dosificador de banda rodante con balanza .....	25
<b>Figura 13-2</b> Dosificador de pérdida de peso.....	26
<b>Figura 14-3</b> Función primaria de la máquina .....	36
<b>Figura 15-3</b> Diagrama de funciones secundarias de la máquina .....	38
<b>Figura 16-3</b> Motoreductor.....	40
<b>Figura 17-3</b> Bioreactor alimentado verticalmente .....	41
<b>Figura 18-3</b> Bioreactor alimentado con tornillo sin fin .....	42
<b>Figura 19-3</b> Bioreactor alimentado con banda transportadora .....	43
<b>Figura 20-3</b> Dosificador de biomasa con mezclador .....	44
<b>Figura 21-3</b> Alternativa 1 para el diseño del modulo .....	47
<b>Figura 22-3</b> Alternativa 2 para el diseño del modulo .....	47
<b>Figura 23-3</b> Partes principales del transportador .....	55
<b>Figura 24-3</b> Dimensiones máximas de un cubo.....	56
<b>Figura 25-3</b> Dimensiones principales del transportador según Catálogo Screw Conveyo3 .....	57
<b>Figura 26-3</b> Espacio disponible entre el tubo del transportador y el eje del sinfín .....	58
<b>Figura 27-3</b> Propiedades de lámina de acero inoxidable .....	61
<b>Figura 28-3</b> Dimensiones básicas de la tolva .....	63
<b>Figura 29-3</b> Dimensiones básicas de la tolva .....	70
<b>Figura 30-3</b> Diagrama de cargas del tubo exterior del dosificador de biomasa. ....	71
<b>Figura 31-3</b> Propiedades mecánicas de acero A36.....	73

<b>Figura 32-3</b> Propiedades mecánicas ASTM A36 .....	74
<b>Figura 33-3</b> Acople dosificador con gasificador .....	76
<b>Figura 34-3</b> Principales fuerzas actuantes en una unión bridada.....	76
<b>Figura 35-3</b> Patrón de apriete cruzado de los tornillos .....	77
<b>Figura 36-3</b> Datos para juntas tipo anillo y cara completa .....	78
<b>Figura 37-3</b> Bridas y espárragos ASME.....	80
<b>Figura 38-3</b> Deformación en juntas tipo anillo.....	80
<b>Figura 39-3</b> Diagrama de cuerpo libre del eje .....	81
<b>Figura 40-3</b> Diagrama de cargas X - Y.....	82
<b>Figura 41-3</b> Relación esfuerzo – tiempo. Esfuerzos medios y alternantes.....	83
<b>Figura 42-3</b> Cuadro selección chumaceras .....	90
<b>Figura 43-3</b> Selección Motoreductor .....	92
<b>Figura 44-3</b> Selección Variador de Frecuencia .....	93
<b>Figura 45-3</b> Desalineaciones de acoples flexibles .....	94
<b>Figura 46-3</b> Clasificación de carga .....	94
<b>Figura 47-3</b> Factor de servicio .....	95
<b>Figura 48-3</b> Factor de arranques/hora.....	95
<b>Figura 49-3</b> Serie A de engranaje doble tipo DA .....	96
<b>Figura 50-3</b> División de cargas .....	97
<b>Figura 51-3</b> Motoreductor y variador .....	104
<b>Figura 52-3</b> Conexión tuberías y blower .....	104
<b>Figura 53-3</b> Colocar carbón vegetal .....	105
<b>Figura 54-3</b> Lecho encendido .....	105
<b>Figura 55-3</b> Carga de biomasa .....	105
<b>Figura 56-3</b> Dosificación de biomasa forestal .....	106
<b>Figura 57-3</b> Cerrado hermético de la tapa superior .....	106
<b>Figura 58-3</b> Presencia de gas pobre .....	106
<b>Figura 59-3</b> Llama .....	106
<b>Figura 60-3</b> Flujos de masa y energía.....	108

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>ANSYS</b>	Swanson Analysis Systems
<b>C</b>	Cliente
<b>CEMA</b>	Asociación de Fabricantes de Equipo de Transportadores
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>D</b>	Diseño, deseo
<b>DAC</b>	Diseño Asistido por Computador
<b>F</b>	Fabricación
<b>HR</b>	Contenido de Humedad
<b>M</b>	Marketing
<b>MR</b>	Modificación de Requerimiento
<b>P</b>	Producción
<b>PLC'S</b>	Programmable Logic Controller o Controlador Lógico Programable
<b>QFD</b>	Quality Function Deployment o Despliegue de la función calidad
<b>R/D:R</b>	Requerimiento
<b>Syngas</b>	Gas de síntesis
<b>VOC</b>	Voice of Customer o Voz del Usuario

## SIMBOLOGÍA

<b>cm</b>	Centímetros
<b>D</b>	Diámetro externo
<b>d</b>	Diámetro interno
<b>g</b>	Gravedad
<b>h</b>	Hora
<b>h</b>	Altura
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno Molecular
<b>kcal</b>	Kilocaloría
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/h</b>	Kilogramo por hora
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>kJ</b>	Kilojoule
<b>m</b>	Metros
<b>maire</b>	Flujo másico de aire
<b>mcen</b>	Flujo másico de cenizas
<b>mcomb</b>	Flujo másico del combustible
<b>mgas</b>	Flujo másico de gas
<b>min</b>	Minuto
<b>MJ</b>	Megajoule
<b>MJ/kg</b>	Megajoule por kilogramo
<b>MJ/m<sup>3</sup></b>	Megajoule por metro cúbico
<b>ml</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>ms</b>	Masa
<b>MW</b>	Mega Watts
<b>N</b>	Newton
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno Molecular
<b>p</b>	Presión interna
<b>PCI</b>	Poder calorífico inferior
<b>PCIBH</b>	Poder calorífico inferior base húmedo
<b>PCIgas</b>	Poder calorífico inferior del gas
<b>PCS</b>	Poder calorífico superior
<b>PCSBS</b>	Poder calorífico superior en base seca

<b>pulg</b>	Pulgadas
<b>qq</b>	Quintales
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>tg</b>	Tangente
<b>V</b>	Voltaje

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Encuesta Casa de la Calidad
- B** Casa de la Calidad
- C** Selección de Material
- D** Selección de Juntas
- E** Selección Bridas y Espárragos
- F** Selección Rodamiento
- G** Selección Motoreductor
- H** Selección Variador
- I** Estandarización de Proceso sin Dosificador
- J** Estandarización de Proceso con Dosificador
- K** Manual de Operación del Dosificador

## LISTA DE PLANOS

- A** Lista de Materiales
- B** Dosificador de Biomasa Forestal
- C** Tubo
- D** Brida
- E** Tapa
- F** Brida-2
- G** Empaque
- H** Base
- I** Base-2
- J** Tolva
- K** Brida-3
- L** Compuerta
- M** Tapa-2
- N** Tornillo sin fin
- O** Tubo posterior

## RESUMEN

El presente trabajo muestra el proceso de diseño y construcción de un dosificador de biomasa forestal tipo Downdraft ubicado en el área de térmicas de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a que el gasificador presente en el área muestra características que lo hacen poco atractivo para la industria, entre las que resaltan la dificultad de la dosificación de materia prima (madera) y la inseguridad que genera para el operador, quien debe suministrar permanentemente la madera durante el proceso para obtener un funcionamiento normal del mismo. Para solucionar dicha problemática se desarrolla un dosificador partiendo de la revisión del estado del arte y los desarrollos tecnológicos en el área de transporte y alimentación de desechos sólidos, para seleccionar el sistema de alimentación de mejores características, utilizando como herramienta de diseño “la casa de la calidad” en la que se determina que se aplicara un transportador horizontal de tornillo sin fin, que sea didáctico para el uso tanto de estudiantes como docentes, que satisfaga las condiciones de funcionamiento del gasificador al realizar la selección y diseño de sistemas además de partes basados en la normativa existente, tomando en cuenta además la selección de materiales adecuados. En las pruebas se verifica una mayor estabilidad en el proceso de gasificación ya que, al dosificar de manera continua se puede observar el aumento de flujo másico de gas pobre con cálculos basados en un balance de masas del gasificador, observando el aumento de duración de la llama generada, además de una evidente reducción de la intervención humana en el proceso.

PALABRAS CLAVE: <DOSIFICADOR>, <GASIFICADOR>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA>, <TRANSPORTE DE SOLIDOS>, <ALIMENTACION DE SOLIDOS>, <GAS POBRE>

## ABSTRACT

The present work shows the design and construction process of a proportioner of Downdraft type forestry biomass located in the thermal area of the Mechanics Faculty of the Escuela Superior Politecnica of Chimborazo because the gasifier of the area shows characteristics which make it unattractive for the industry, among which there are the proportioning difficulty of the raw material (wood) and the insecurity for the operator, who must permanently provide the wood during the process to have its normal functioning. To solve this problem, a proportioner is developed from the state of the art revision and the technological developments in the transportation and food area of the solid wastes to solve the feeding system of better features using as design tool “ the quality house” in which is determined that an horizontal worm gear conveyer will be applied, which will be didactic for the use of both the students and teachers satisfying the gasifier functioning conditions upon carrying out the system selection and design together with the parts based on the existing norm, taking into account the selection of the adequate materials. In testing, a major stability in the gasifying process is verified as upon continuously proportioning, the producer gas massive flux increase can be observed with calculations based on a mass balance of the gasifier, observing the generated flame duration, besides an evident reduction of human intervention in the process; from the above mentioned, it is recommended to install the automated gasifstarting.

KEY WORDS: <DOSIFIER>, <COMPUTER ASSISTED DESING>, <TRANSPORTATION OF SOLIDS>, <FEEDING OF SOLIDS>, <PRODUCER GAS>

# CAPÍTULO I

## MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

La degradación de nuestro planeta, no sólo en el clima, sino en todos los aspectos ambientales, es culpa del afán ciego de la civilización, siendo el llamado calentamiento global uno de los más grandes problemas que en la actualidad afecta a la humanidad; se entiende por calentamiento global al aumento de temperatura gradual en la superficie, los océanos y la atmósfera de la Tierra, ocasionando graves consecuencias como la desaparición de los glaciares, el incremento en la intensidad de los huracanes, además de temperaturas mucho más extremas con altibajos a nivel mundial. (Geographic, 2010)

Los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nítrico, entre otros. son una de las principales causas del calentamiento debido a que si la concentración de los gases de efecto invernadero es elevada también lo es el incremento de temperatura global. El dióxido de carbono es el contaminante más influyente y se produce de varias formas, una de ellas es mediante la quema de combustibles fósiles. (CRICYT, 2014)

Según una investigación realizada por la National Geographic desde 1990 las emisiones anuales de dióxido de carbono han aumentado en cerca de 6 billones de toneladas métricas de “equivalente de dióxido de carbono” a nivel mundial, registrándose un aumento de un 20 por ciento de concentración de dióxido de carbono equivalente, con respecto a la cantidad de CO<sub>2</sub> presente hasta 1990 (30 billones de toneladas). (Geographic, 2010)

Las alternativas para disminuir las emisiones de gases que causan el efecto invernadero son las energías renovables, según la revista científica REN21 este tipo de energías proveen aproximadamente el 25% de la energía en servicios de calentamiento y enfriamiento en edificios e industrias de todo el mundo. Dentro de las energías renovables están la energía solar, térmica, geotérmica y la energía obtenida a partir de la biomasa. (Energías Renovables 2016, 2016)

A pesar de lo expuesto, la contribución de las energías alternativas es muy baja, ya que aproximadamente las tres cuartas partes del consumo mundial es sustentado por los combustibles fósiles presentándose un declive a nivel mundial con la crisis del 2015 a causa de la baja en los precios en el petróleo. (Madruga, 2012)

Un tipo de energía amigable con el ambiente y que causa daños insignificantes al planeta es la biomasa, usada para calefacción en edificios e industrias en un 8% a nivel mundial. (IDAE, 2007)

Existen dos familias de tecnologías principales de gasificación si se atiende al tipo de gasificador: la de lecho móvil que, a su vez, se subdivide dependiendo del sentido relativo de las corrientes de combustible (biomasa) y agente gasificante, cuando las corrientes son paralelas, el gasificador se denomina “downdraft” o de corrientes paralelas; cuando circulan en sentido opuesto, se denomina “updraft” o de contracorriente. (IDAE, 2007)

Y la de lecho fluidizado, en la que el agente gasificante mantiene en suspensión a un inerte y al combustible, hasta que las partículas de éste se gasifican y se convierten en cenizas volátiles y son arrastradas por la corriente del syngas o gas de síntesis, que es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono. (IDAE, 2007)

Uno de los procesos para la obtención de energía a partir de biomasa es la gasificación de madera trozada, el principio fundamental del generador a base de madera es la no combustión, que consiste en calentar la madera trozada sin que alcance la combustión, permitiendo obtener muy bajas emisiones y alto rendimiento de las plantas de energía a partir de Biomasa, el gas obtenido del generador puede ser usado como combustible en motores de combustión interna. (ICOGEN, 2015)

Los sistemas de alimentación automatizados para este tipo de plantas de generación de energía son tornillos helicoidales, que pueden alimentar con biomasa la planta de generación de forma continua, incorporados con válvulas que regulan la presión interna y externa para evitar la fuga del gas. (ICOGEN, 2015)

Según Kirkels y Verbong (2011), comparado con la combustión, la gasificación es más eficiente, proporcionando calor más controlado, mayores eficiencias en la producción de

electricidad y la posibilidad de producir a la vez combustibles y productos químicos. (Cerdá, 2012)

## **1.2 Planteamiento del problema**

La contaminación presente en el ambiente, va acrecentándose día a día de manera indiscriminada debido al uso constante de combustibles fósiles en la industria y los hogares, ocasionando entre otras consecuencias el aumento de la temperatura de la atmósfera, siendo deber de todos buscar soluciones que mitiguen el daño en el planeta, es así que en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se han realizado estudios sobre la generación de energía a partir de biocombustibles, específicamente el área de térmicas cuenta con un gasificador de biomasa tipo Downdraft para la generación de energía térmica, la cual puede ser transformada en energía eléctrica, o se puede emplear para uso doméstico; lamentablemente existen algunas características que lo hacen poco atractivo para la industria, entre las que resaltan la dificultad de la dosificación de materia prima (madera) y la inseguridad que genera para el operador, quien debe suministrar permanentemente la madera durante el proceso para obtener un funcionamiento normal del mismo. Al ser una alimentación manual de materia prima, el rendimiento de este proceso es demasiado variable, manteniéndose los valores de presión y temperatura en valores inestables. Por ello se ha considerado la alimentación del gasificador de manera continua.

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1 *Justificación teórica***

Como resultado del trabajo se genera una metodología de diseño para el posterior desarrollo de un sistema eficaz de transporte de biomasa, entregando información valiosa para la incursión en el campo de transporte de sustancias sólidas, recopilando información y métodos de desarrollo existentes en este campo, para obtener un diseño óptimo que sea eficiente, con un costo accesible, dentro de la economía y la tecnología disponible en nuestro país.

### **1.3.2 *Justificación metodológica***

Concluido el trabajo en su totalidad se dispondrá del estudio del arte, y una guía metodológica para posteriores trabajos en los cuales se requiera implementar transportadores de sólidos. Además se tendrá un procedimiento para el diseño y la construcción de un dosificador de materiales sólidos, en el que consta un mecanismo de alimentación y un sistema de control de velocidad de dosificación.

### **1.3.3 *Justificación práctica***

Una vez concluida la propuesta tecnológica planteada se tendrá el diseño de un dosificador de biomasa de flujo constante, el cual permitirá alimentar sistemas de generación que recopilen datos para la implementación de sistemas de generación de energía limpia mediante el tratamiento de desechos sólidos.

Específicamente se obtendrá un gasificador más funcional, con una mayor facilidad de operación, ya que el proceso de dosificación automático permite obtener mediciones de parámetros de funcionamiento más confiables y controlados en términos de producción de syngas.

## **1.4 Alcance**

La presente Propuesta Tecnológica, se centrará en el diseño, construcción y evaluación de parámetros de funcionamiento del dosificador de biomasa forestal para el gasificador tipo Downdraft. La biomasa forestal que se considera para la presente propuesta son probetas en forma de cubos o cilindros circulares, que pueden ser briquetas de biomasa o madera trozada, las cuales en estudios anteriores han sido probadas como fuentes de energía apropiada y económicas frente a otros combustibles similares, ya que estos materiales en condiciones de desechos son producidos y desperdiciados en grandes cantidades provocando contaminación ambiental.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 *Objetivo general***

- Diseñar y construir un dosificador de biomasa forestal para gasificador tipo Downdraft

### **1.5.2 *Objetivos específicos***

Examinar el estado del arte y los desarrollos tecnológicos en el área de transporte y alimentación de desechos sólidos.

Seleccionar el sistema de alimentación de mejores características para satisfacer las condiciones de funcionamiento del Gasificador tipo Downdraft ubicado en el laboratorio de térmicas de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Realizar la selección y diseño de sistemas y partes, tomando en cuenta la selección de materiales adecuados.

Construir un transportador que sea capaz de dosificar biomasa forestal de manera automática, continua y rápida.

Evaluar el funcionamiento del dosificador de biomasa forestal para que otorgue una alimentación continua al Gasificador tipo Downdraft de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Con el paso de la historia, la necesidad de contar con una energía limpia que minimice el impacto industrial ha demandado diseñar y construir maquinaria que se adapte a estos principios, es así que entre las principales fuentes de energía limpia se define a la biomasa como una fuente de energía renovable, limpia, segura, sostenible y económica que cada día adquiere mayor relevancia por su potencial económico, como fuente de energía. (Robles, 2016)

Si a la gran variedad de biomasa existente se aplica distintas tecnologías se puede transformar esta energía para usarla por ejemplo en: producción de energía térmica, producción de biogás, producción de biocombustibles, entre otros. (ENDESA.SA, 2010)

En el presente capítulo se definirán parámetros fundamentales que deben ser considerados para el diseño de un dosificador aplicado en un gasificador de flujo descendente tipo Downdraft, el cual tiene como materia prima biomasa forestal, detallando los productos que se transportarán y tomando en consideración el principio de una dosificación que controla la concentración de los productos agregados, asegurando una mezcla homogénea en un producto final.

#### **2.1 Diseño conceptual y metodológico**

##### **2.1.1 *Conceptos de diseño mecánico***

Para ejemplificar claramente el significado de Diseño Mecánico, se toma como referencia el criterio de varios autores, mismos que se detallan a continuación:

*“Diseño en ingeniería, es el proceso de concepción de un sistema para satisfacer unas necesidades. Es éste un proceso de toma de decisiones a menudo iterativo, en el cual las ciencias básicas, las matemáticas y los conocimientos en ingeniería son aplicados para transformar óptimamente los recursos y satisfacer los objetivos”* (García, 2004)

*“Se define al Diseño Mecánico como el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos conocidos, con el propósito de definir objetos o sistemas de naturaleza mecánica, como son: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas, dispositivos e instrumentos diversos” (Sánchez, 2009)*

*“Por diseño se califica a la invención que se realiza para satisfacer una demanda humana. En el caso del Diseño Mecánico podría decirse que se trata de encontrar "Soluciones simples y efectivas, que faciliten su construcción y cumplan con los requisitos de Diseño", es bajo este simple concepto que, habiendo aprendido la teoría Física y Matemática de la Mecánica, se diseñan las piezas y elementos mecánicos” (Barceló, 2011)*

*“El diseño mecánico es una mezcla entre análisis y pensamiento creativo, basados en conceptos de excelencia y detalles correctamente diseñados, para lo cual los ingenieros de diseño deben ser extremadamente creativos y muy observadores del mundo que los rodea. Análogo a un problema de física, el análisis es una forma de ejercicio mental que permite entrenar la mente para hacerla fuerte y rápida. Muchos diseños de máquinas no se podrían concebir si el ingeniero de diseño no entiende los principios básicos de la física detrás del proceso o maquina el cual requiere ser diseñado.” (Golenko, 2010)*

*“Un ingeniero de diseño debe tener la habilidad para identificar problemas, y una vez que el problema ha sido identificado, por lo general cederá a una interminable avalancha de pensamiento creativo y análisis. Y en adición a la identificación y solución de problemas, el ingeniero de diseño debe aprender a identificar lo que el cliente realmente necesita lo cual no es necesariamente lo que el cliente piensa que necesita.” (BEHERA, 2010)*

### **2.1.2 Evolución del diseño mecánico**

La ingeniería mecánica es la precursora de muchas ramas de la ingeniería y ha sido su pilar fundamental hasta el presente, por ello la historia de las maquinas abarca un periodo muy amplio de la historia de la humanidad, y puede ser estudiado desde muchas perspectivas, vinculándose el progreso de la ingeniería mecánica a las grandes culturas que han surgido a lo largo de la historia de la humanidad. Los primeros desarrollos

mecánicos no tienen un autor conocido y aparecieron desde la prehistoria abriendo el camino para las primeras civilizaciones, marcadas en gran parte, por las culturas grecorromana en Europa y por China en Asia.

Después de ello llegó el mundo islámico, que en la edad media estimuló a la sociedad a encontrar nuevos dispositivos mecánicos y sentar las bases que conducirían al renacimiento.

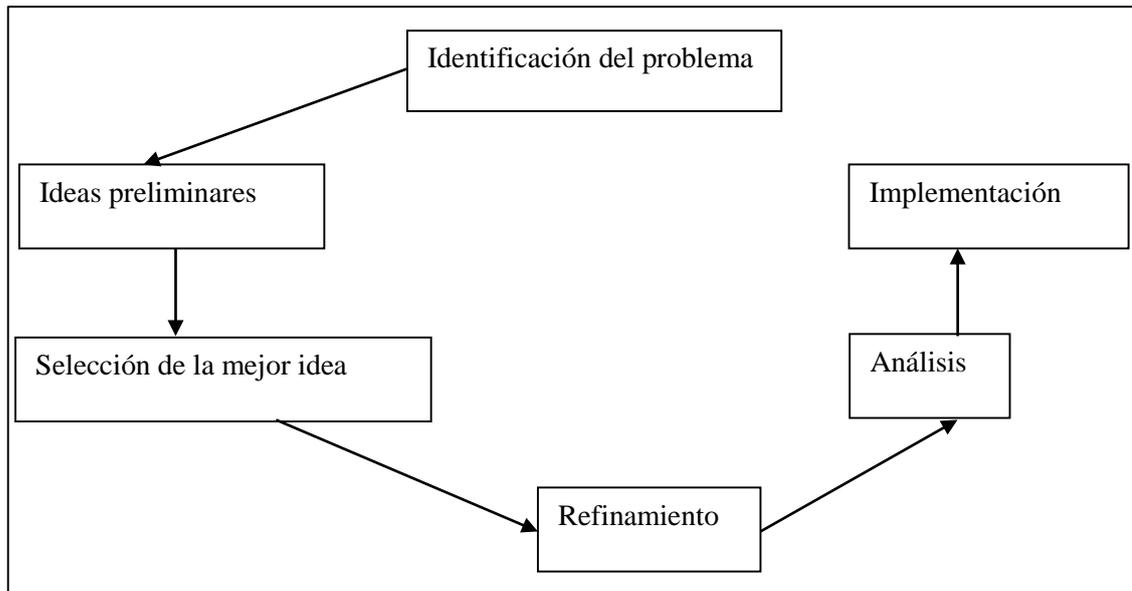
Destaca en este periodo la expansión del pensamiento creativo e innovador italiano, francés, alemán con sus “tratados sobre las máquinas”, que coincidieron por un corto tiempo con el avance del imperio ibérico y el desarrollo de maquinaria para el nuevo mundo.

Finalmente, la revolución industrial se convirtió en el clímax de todos los desarrollos previos y comenzó un periodo de rápida evolución mecánica que iba a ser muy interesante desde el punto de vista histórico y tecnológico, esto fue acompañado por un interés paralelo en la reflexión y el análisis de las máquinas, lo que ha llevado a la aparición de innumerables inventos tecnológicos. (BEHERA, 2010)

### **2.1.3 Teoría de precedentes de diseño mecánico**

#### **2.1.3.1 Actividades de diseño y desarrollo de máquinas.**

Existen muchos modelos que apuntan a la descripción del proceso de diseño mecánico (García, Sánchez, Barceló, Golenko, Behera), la mayor parte son esquemas de varios niveles con muchas realimentaciones, bucles complicados, entre otros. Tratando de reflejar la forma en que una idea se convierte en realidad. Lo que se requiere para visualizar las actividades de diseño mecánico es un diagrama de flujo simple que se siguen durante el diseño de componente o un grupo de componentes.



**Figura1-2:** Proceso de diseño

Fuente: El autor

Los cuatro primeros pasos de este esquema se los conoce como diseño conceptual, el siguiente paso (análisis), se denomina fase de realización o diseño detallado. Según J. Diriesck, el diseño de la realización consiste en la selección de la geometría (forma y tamaño) y materiales junto con cierta carga inicial que es inherente con un funcionamiento libre de fallo de un objeto diseñado. Y el último paso (implementación) se ocupa de la preparación de los planos de montaje y de trabajo. (BEHERA, 2010)

- Identificación del problema

Si se comienza con la primera fase de diseño conceptual, hay una necesidad de realizar algún trabajo útil. Dentro del ámbito de la primera etapa debemos identificar el problema, es decir, determinar la carga externa, las limitaciones en términos de geometría, métodos de fabricación, entre otros. (especificaciones de diseño).

- Ideas preliminares

En ciertos campos de la tecnología (hidráulica, electrónica) es posible encontrar y aplicar un algoritmo del proceso de búsqueda de soluciones. Es más difícil en ingeniería mecánica, aunque se han hecho algunos intentos, especialmente en la Teoría de Máquinas y Mecanismos. Algunos problemas complejos requieren una cooperación interdisciplinaria. (GOLENKO, 2010)

El enfoque de lluvia de ideas ha sido ampliamente conocido y empleado en la práctica. En la mayoría de los casos, sin embargo, las nuevas soluciones crecen en las antiguas. Se confía en la experiencia, observaciones y sentido común. En esta etapa, la solución debe estar dibujada a mano libre o mediante convenciones de dibujo simples. Debe ser viable desde el punto de vista de la cinemática. Se va a discutir algunas posibles soluciones del problema. (GOLENKO, 2010)

- Selección de las mejores ideas

¿Qué solución es la mejor? Ninguna decisión es posible hasta que se haya establecido un conjunto de criterios. Algunos de ellos, sin embargo, son más importantes que los otros, tan necesarios son los cuantificadores (pesos). Tenemos los siguientes criterios: precio (precio bajo), peso y conveniencia de uso (universalidad). Se debe compararlos en una base cero a uno con ponderaciones adecuadas (un método conocido como casa de la calidad).

- Refinamiento de la idea

La idea seleccionada tiene que ser refinada para cumplir con las especificaciones asumidas. Este procedimiento consiste en la selección de una disposición de los elementos, componentes, longitudes de los enlaces, ángulos, entre otros, y se hace analíticamente, o bien mediante un dibujo escalado. Se requiere el uso de instrumentos de dibujo (CAD). (ADAMS, 2015)

- Análisis

Este es el núcleo en el proceso de diseño. La etapa de análisis consiste como se ha explicado anteriormente, en la selección de la geometría (forma y dimensiones), materiales y de algunas propiedades dinámicas para la solución seleccionada. Vamos a discutir más detalladamente los dos primeros criterios.

Antes de la etapa de diseño, se debe realizar un análisis de la fuerza, para lo cual se realiza un gráfico, se requiere un análisis de las cargas externas y el punto de aplicación de dichas cargas, ya sea por métodos analíticos o gráficos. En el caso de la selección de la forma,

simplemente debe ser la más adecuada para la carga a ser transferida. El principal problema en un caso de diseño de elementos de máquina son los enlaces o acoples en el caso de transferencia de movimiento, ya que siempre están sujetos a cargas de pandeo o de corte. (TORRES, 2012)

En la selección de materiales es muy importante relacionar las características mecánicas del elemento, con los diferentes tipos de materiales que se pueden hallar en la industria, ya sean metales, polímeros, entre otros. Finalmente los elementos que se hallan sujetos a desgaste por lo general deben tener durezas elevadas como es el caso de los aceros de alto carbono. Para la selección de dimensiones se nota una diferencia muy clara en el caso del entrenamiento de los estudiantes en los cuales se controla absolutamente las dimensiones y las cargas dadas. (TORRES, 2012)

Las ecuaciones básicas en el tema de diseño de elementos de máquinas para el caso de una barra sometida a un esfuerzo de tensión son las siguientes:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq k_r, \quad k_r = \frac{R_e}{F_s} \quad (2.1)$$

Donde:

$\sigma$ : *Esfuerzo de tracción;*

$F$ : *Fuerza a la cual esta sometida la barra*

$A$ : *seccion transversal de la barra*

$R_e$ : *Resistencia a la tracción*

$F_s$ : *Factor de seguridad*

$k_r$ : *Factor de resistencia*

Estas ecuaciones son aplicables solo en un caso simple esfuerzos de tracción, pero en el caso de cargas combinadas como: cargas de compresión, torque, cargas de fatiga. Se requiere la aplicación de fórmulas más complejas como Von Misses, Darcy, entre otros. Así en el caso de un elemento sometido a una carga de tracción se puede calcular el diámetro de la barra con las formulas anteriores utilizando un factor de seguridad razonable para compensar las cargas adicionales.

- Implementación

La etapa de implementación consiste en la preparación de planos de montaje y de trabajo. De los muchos comentarios y bucles omitidos en el esquema presentado, el más importante es una correlación entre las dos últimas etapas del proceso de diseño. Algunos elementos de la máquina no pueden analizarse hasta que se haya realizado al menos el dibujo preliminar escalado de los mismos. (TORRES, 2014)

#### **2.1.4 Tendencias y herramientas para el desarrollo del diseño mecánico**

##### *2.1.4.1 Tendencias recientes en el diseño mecánico y herramientas para su desarrollo*

Mirando hacia la nueva era de la tecnología en el área de diseño mecánico se pueden destacar como una de las tecnologías más comunes y familiares en estos días es el diseño asistido por computadora, la modelación mediante herramientas CAD permite la mejor visualización así como el análisis de funcionalidad de mecanismos de una mejor manera. El diseño basado en simulaciones mecánicas permite:

- Acelerar el desarrollo de un nuevo producto
- Reducción de costos de prototipos
- Mejora la calidad del producto y su rendimiento
- Mejora la fiabilidad
- Permite seleccionar materiales ideales para su aplicación

No solo el diseño, sino también el análisis juega un papel importante en la búsqueda y resolución de problemas en diferentes condiciones de trabajo para diferentes aplicaciones industriales. Los servicios de diseño mecánico ofrecen ingeniería conceptual y diseño de productos, con la ayuda de herramientas avanzadas como AutoCAD 3D así como Solid Works, 3D Max, se pueden obtener beneficios para un mejor diseño del producto. (BEHERA, 2010)

El campo de la ingeniería mecánica cubre el diseño y análisis de todos los sistemas y tecnologías que se hallen conformados por componentes mecánicos, y tiene aplicación en producción de energía, sistemas ambientales, materiales compuestos, transporte, robótica, manufactura, diseño de máquinas, y muchas otras áreas. (BEHERA, 2010)

Varias tecnologías claves caen fundamentalmente dentro del dominio del diseño mecánico, entre ellas se encuentran los procesos de fabricación en micro y nano escala en las áreas de energía y medio ambiente. Los ingenieros de diseño pueden trabajar en ambientes de diseño virtual y dominan la computación, en consecuencia, juegan un papel significativo en el desarrollo de la tecnología de la información. (BEHERA, 2010)

La nanotecnología es un gran desarrollo obtenido del campo de la ciencia y la tecnología. Las nano-fábricas han alcanzado un gran nivel de desarrollo, hoy en día se pueden fabricar prototipos de nano reductores de velocidad, nano máquinas, y en consecuencia se trabajan intensamente en la conexión de los nanomateriales con distintas áreas de la ciencia, por ejemplo, existen numerosas investigaciones para la creación de órganos para personas con enfermedades terminales. No existe un límite para la creación de máquinas y mecanismos capaces de permitir a la humanidad la conquista del universo. (BEHERA, 2010)

- Diseño concurrente

Las estrategias empresariales están cambiando rápidamente con las demandas de un mercado globalizado altamente competitivo. Las industrias se enfrentan a retos cada vez más difíciles. El ciclo de vida de un producto se necesita para ser acortado para satisfacer las necesidades del cliente y sostener en la competencia del mercado. Obviamente, las soluciones técnicas son necesarias para ser conducido por los negocios. (BEHERA, 2010)

La ingeniería concurrente es reconocida como una de las soluciones técnicas para superar estos desafíos. La implementación de tecnologías de ingeniería concurrentes en el campo del diseño y desarrollo de productos ayuda en el estudio del enfoque tecnológico y la tendencia de las aplicaciones. Se reconoce el aporte de la ingeniería concurrente es la forma de lograr la sostenibilidad a largo plazo en este clima de negocios altamente competitivo. (BEHERA, 2010)

**2.1.5 Metodología del diseño del sistema de dosificación de sólidos.** Es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas relevadores y compuertas lógicas; sin embargo, estos como en el caso de los (PLC'S) o Controladores Lógicos Programables.

#### *2.1.5.1 Análisis del diseño adaptativo del dosificador de flujo continuo.*

En el caso del requerimiento en que una máquina que debe ser parte de un sistema maestro que cumple con una función productiva, se debe obtener datos y dimensiones del sistema maestro para el respectivo diseño mecánico del dosificador. (RODRIGUEZ, 2010)

Lo cual nos permite definir los requerimientos del sistema esclavo requerido. Debido a la gran necesidad de transporte de sólidos en la industria muchos investigadores se han dedicado a desarrollar métodos para dimensionar tornillos sin fin, bandas transportadoras, canchales, entre otros. (RODRIGUEZ, 2010)

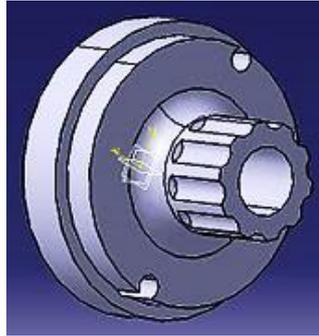
#### *2.1.5.2 Diseño asistido por computadora.*

El diseño asistido por computadora (DAC) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas en el campo de la ingeniería, de la física, entre otros., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por los métodos matemáticos tradicionales.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado costo tanto económico como en tiempo de desarrollo.

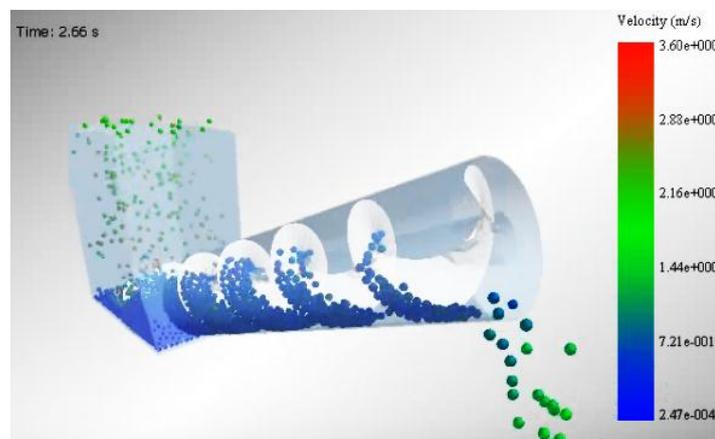
El DAC permite realizar un dimensionamiento del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método.

El diseño asistido por computadora es importante para el presente estudio ya que para la respectiva validación del diseño del sistema de dosificación se requiere su dimensionamiento para iniciar con su construcción.



**Figura 2-2:** Dimensionamiento en software DAC  
**Fuente:** El autor

ANSYS es un programa de elementos finitos que originalmente ofrece soluciones para resolver análisis estáticos lineales. Sucesivamente se han ido introduciendo módulos con los que este programa es capaz de resolver además problemas dinámicos no lineales. Es un programa de elementos finitos que da solución a procesos implícitos, es decir, resuelve sistemas estáticos/cuasi-estáticos (fuerzas aplicadas en grandes lapsos de tiempo) en los que el sistema se comporta de forma lineal. Se resuelve en una sola iteración, definida a partir de intervalos grandes de tiempo, ya que las soluciones convergen fácilmente mostrando una gran estabilidad. De manera que utiliza pocos recursos computacionales. (RODRIGUEZ, 2010)



**Figura 3-2:** Dimensionamiento en software ANSYS  
**Fuente:** (BLACKENNEW, 2015)

El software que se van a utilizar para la modelación 3D es SolidWorks porque nos permite visualizar el prototipo del dosificador en el cual se puede determinar posibles problemas que se podrían generar durante la construcción, lo cual permite optimizar recursos. (RODRIGUEZ, 2010)

### **2.1.6 Manejo de materiales.**

El manejo de los materiales es parte del proceso de un sistema facilitando su movilidad y almacenamiento del producto, cabe destacar que en el proceso incluye tiempo, lugar, cantidad y espacio.

El manejo adecuado de los materiales debe efectuarse con buen rendimiento para reducir al mínimo los tiempos de transporte al costo más bajo y el mínimo esfuerzo a la que puede estar sometida ya que el perfeccionamiento de los métodos de manejo de materiales disminuye el peligro y la fatiga de muchas tareas a la producción o al sistema. (GUTIERREZ, 2014)

Los métodos para el manejo de materiales incluyen muchos mecanismos individuales integrados en el proceso que se vuelve un factor dominante en el sistema, estos pueden requerirse movimientos individuales como traslación o elevación o a su vez una combinación de los dos. El tipo de material que transporte pueden ser sólidos o líquidos. (GUTIERREZ, 2014)

El movimiento necesario, la clave y la consistencia del artículo que se va a mover, así como el tipo de proceso con el que se van a combinar, construyen una compleja serie de requisitos que se deben estudiar con cuidado a fin de asegurar una justificación económica y la suficiencia técnica. (GUTIERREZ, 2014)

*2.1.6.1 Biomasa forestal.* La biomasa forestal se define como la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal, tanto por encima como por debajo del suelo. La biomasa forestal se puede clasificar en:



**Figura 4-2:** Biomasa forestal

Fuente: (BASTIENNE SCHLEGEL, 2000)

- *Natural:* Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana, y que se puede aprovechar como fuente energética. Como por ejemplo los troncos, hojas, ramas, frutos, entre otros.
- *Residual Seca:* Son los residuos que se generan en las actividades forestales o en la industria maderera y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, entre otros.

Para el Protocolo de Kyoto, la biomasa tiene un factor de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) igual a cero. La combustión de biomasa produce agua y CO<sub>2</sub>, pero la cantidad emitida de dióxido de carbono fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento.

Es decir, el CO<sub>2</sub> forma parte de un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación por lo que no representa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Su uso contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera siempre y cuando sustituya a un combustible fósil.

*2.1.6.2 Tipos de biomasa.* Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular.



**Figura 5-2:** Tipos de biomasa forestal

Fuente: (Tipos de combustibles para calderas de Biomasa, 2015)

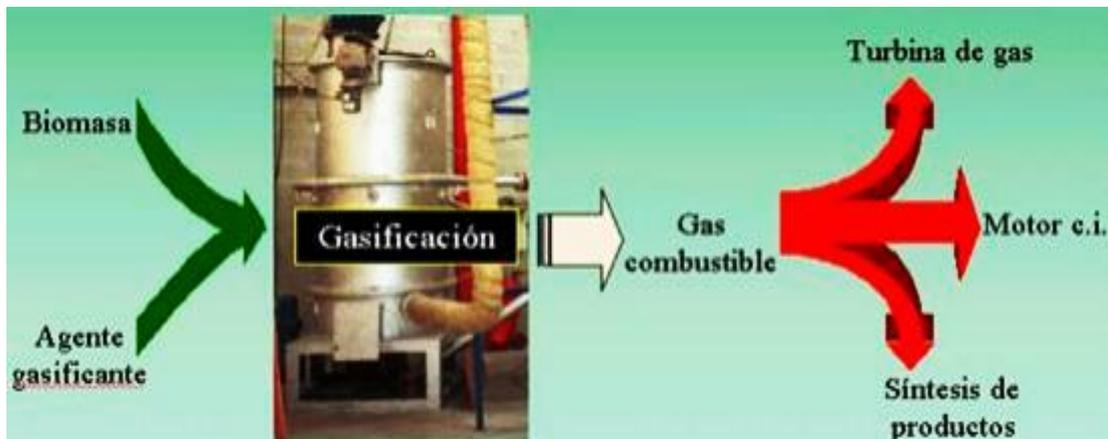
- Composición química y física:* Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar (Tipos de combustibles para calderas de biomasa, 2015).
- Contenido de humedad (HR):* El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía (MONDRAGÓN, 2013).
- Porcentaje de cenizas:* El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la

combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

- *Poder calórico:* El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material (Bastienne Schlegel, 2000).
- *Densidad aparente:* Se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, algunas veces presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso.
- *Recolección, transporte y manejo:* Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional (DANIELA AULESTIA, 2012).

**2.1.7 Proceso de gasificación.** El principio de funcionamiento de un gasificador está basado en un proceso termoquímico en el cual un sustrato carbonoso, pasa a ser un gas combustible mediante reacciones químicas, que se producen a elevadas temperaturas y debido a un agente que facilita la gasificación. El proceso anterior permite eliminar el agua de la biomasa, aumentando su valor energético, eliminando sulfuros y nitruros para disminuir las emisiones dañinas a la atmósfera. Los productos de la gasificación es una

mezcla de gases compuesta por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogeno y metano. Luego de obtener la mezcla de gases se requiere de un motor de combustión para generar energía mecánica, y mediante un generador eléctrico aquella energía se convierte en energía eléctrica (ALBAN, 2012).



**Figura 6-2:** Proceso de gasificación

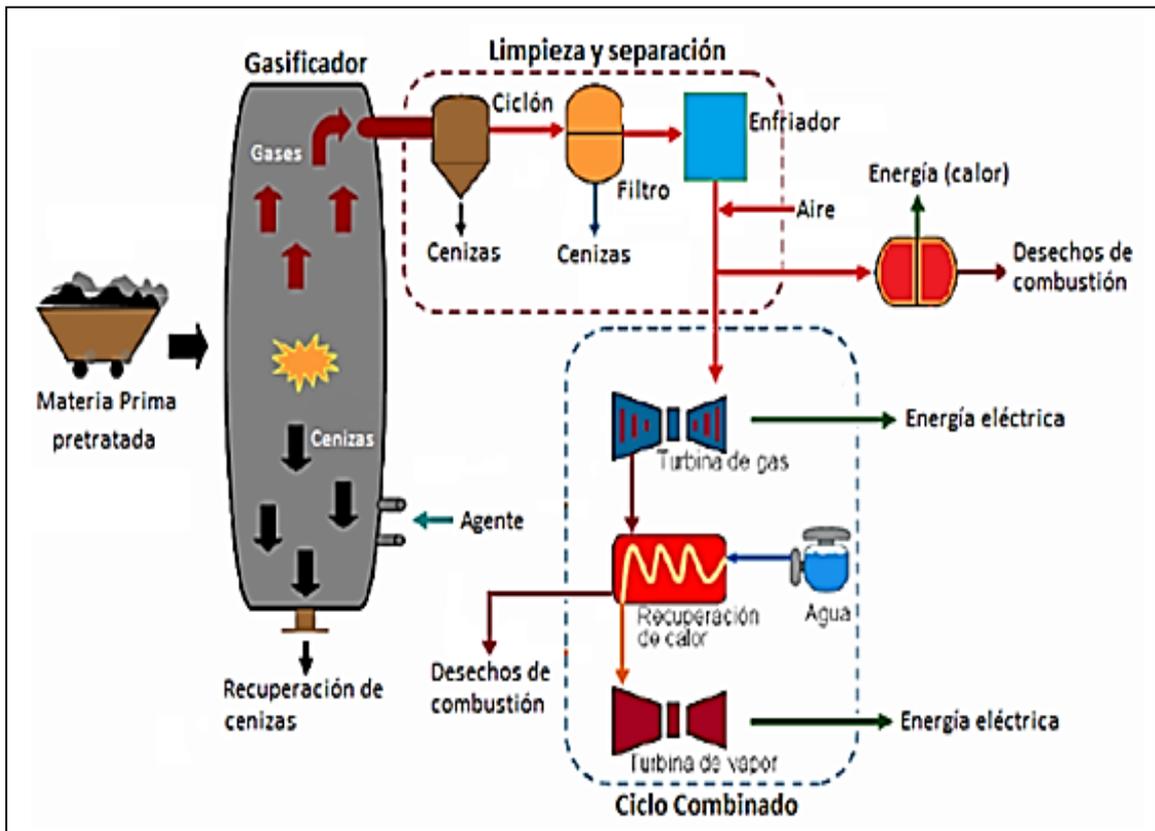
Fuente: (ALBAN, 2012)

#### 2.1.7.1 *Termoquímica de los procesos de gasificación.*

En el proceso de gasificación tienen lugar una gran variedad de reacciones cuyo orden de importancia relativa depende de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado, pero que pueden agruparse en tres bloques o etapas en los que conceptualmente puede dividirse el proceso:

- *Pirólisis o descomposición térmica:* Mediante calor, el sólido original se descompone en una mezcla de sólido, líquido y gas. Al sólido se le suele denominar "char" y a los líquidos, debido a la presencia mayoritaria de alquitranes y vapores condensables, "tar". Puede incluirse aquí el proceso de secado que tiene lugar al entrar la biomasa al gasificador.
- *Oxidación o combustión:* Tiene lugar cuando el agente gasificante es un oxidante como oxígeno o aire e implica el conjunto de reacciones de oxidación, tanto homogéneas como heterogéneas, fundamentalmente exotérmicas, mediante las que se genera el calor necesario para que el proceso se mantenga.

- *Reducción o gasificación:* La constituyen las reacciones sólido-gas o en fase gas, mediante las que el sólido remanente se convierte en gas. Se trata de reacciones fundamentalmente endotérmicas, algunas de las cuales tienen lugar en muy poca extensión, o solo tienen lugar en determinadas condiciones, como ocurre con la hidrogenación y/o reformado (Avila, 2016).



**Figura 7-2:** Esquema del proceso de gasificación

**Fuente:** (Avila, 2016) Gasificación de biomasa

Según bibliografía, los Gasificadores más utilizados en la industria son los de flujo continuo o Downdraft, con un 75 % del total de Gasificadores construidos reportados al año 2013, los reactores de flujo continuo sirven para plantas de generación de bajas potencias térmicas (hasta 1 [MW]), mientras que los de lecho fluidizado son para potencias superiores. (Avila, 2016)

### 2.1.7.2 Clasificación de los procesos de gasificación.

El término genérico “gasificación” engloba una gran variedad de procesos en los que pueden obtenerse productos muy diversos basándose en el agente gasificante empleado puede establecerse una primera clasificación de los procesos de gasificación.

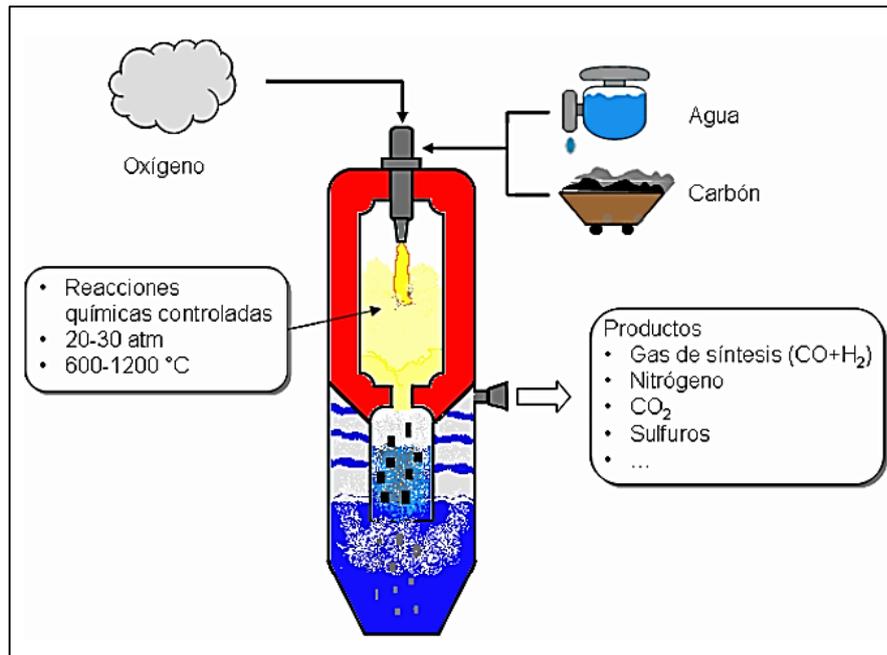
- Con aire: La combustión parcial con el aire da lugar a una reacción exotérmica cuyo producto es un gas de bajo poder calorífico, susceptible de ser aprovechado con fines de carácter energético.
- Con oxígeno: Se produce un gas de poder calorífico medio, de mayor calidad al no estar diluido con N<sub>2</sub>. Además de aplicaciones de carácter energético, puede utilizarse como gas de síntesis para la obtención de metanol.
- Con vapor de agua y/o oxígeno (o aire): Se produce un gas enriquecido en H<sub>2</sub> y CO que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos (amoníaco, metanol, gasolinas, entre otros.).
- Con hidrógeno: Se produce un gas de alto contenido energético que, por tener altos porcentajes de metano, puede utilizarse como sustituto del gas natural (Avila, 2016)

### 2.1.8 Gasificador de flujo descendente (DOWNDRAFT).

En el reactor Downdraft, la biomasa es alimentada por la parte superior y el agente gasificador es agregado por los lados del equipo. En este caso no hace falta el precalentamiento de la biomasa, ya que el equipo se encarga de realizar este proceso.

El secado y la pirolisis se producen en la parte superior del reactor, pero la combustión se produce más arriba que la gasificación, y las cenizas son retiradas junto a la mezcla total de gases por la parte inferior del reactor.

La principal ventaja es que se obtiene un gas con bajo contenido de alquitrán (lo cual permite su uso en motores de combustión interna), pero la desventaja es que los gases de combustión tienen un alto contenido de cenizas por ser retirados ambos productos de la zona inferior del equipo (MS, 2016).



**Figura 8-2:** Esquema del gasificador tipo Downdraft

Fuente: (MS, 2016)

**2.1.9 Dosificador.** El principio de una dosificación es controlar la concentración de los productos agregados y asegurar la mezcla homogénea en un producto final. Los dosificadores son dispositivos utilizados para regular el despacho del producto en diferentes etapas de un proceso.

*2.1.9.1 Sistemas de transporte de sólidos:* El principio de una dosificación es controlar la concentración de los productos agregados y asegurar la mezcla homogénea en un producto final. Los dosificadores son dispositivos utilizados para regular el despacho del producto en las diferentes etapas de un proceso, están compuestos por servomotores, motores eléctricos, electroimanes, cilindros neumáticos y reguladores (MS, 2016).

*2.1.9.2 Tipos de dosificadores.* Para seleccionar el dosificador adecuado se debe considerar los siguientes parámetros.

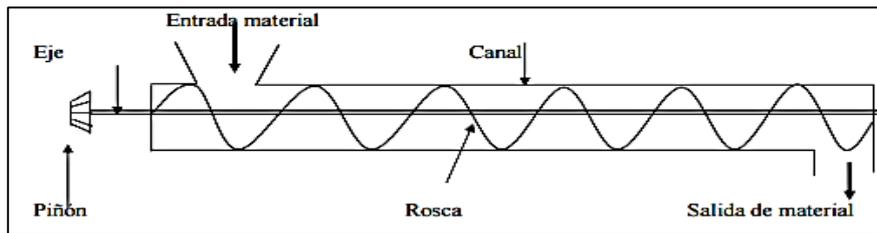
- Naturaleza y características de la sustancia a manipular
- Precisión deseada
- Despacho de los componentes
- Cantidad de dosis necesaria o dinámica del despacho
- Modelo de servicio

Los dosificadores se clasifican principalmente en volumétricos y gravimétricos.

#### 2.1.9.2.1 Dosificadores volumétricos.

Estos sistemas son alimentados por tolvas dotadas con un agitador de paleta para asegurar una alimentación uniforme e impedir que el producto se aglomere o se formen cúmulos y vacíos, los dosificadores más conocidos son.

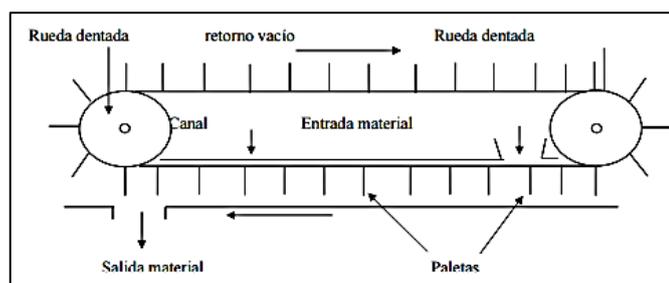
- *Dosificadores de tornillo*: EL transportador helicoidal consta de un eje de acero, sobre el cual se desarrolla una espiral, que gira dentro de un canal, el eje es propulsado por un motor y el acople se produce a través de engranajes o cadenas. Este transportador se utiliza para el movimiento de materiales abrasivos y no abrasivos, en horizontal y oblicuo con pendiente que no supere los 30°. La longitud máxima de transporte no debe superar los 30 metros, pues más allá de esa distancia los esfuerzos de torsión que se producen son muy elevados (García, 2016).



**Figura 9-2:** Transportador de tornillo

Fuente: (García, 2016)

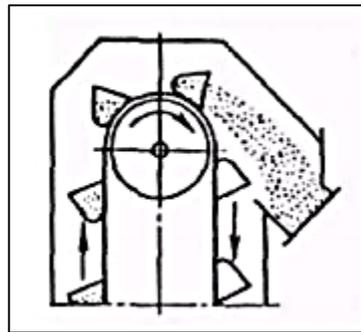
- *Transportador de paletas*: El transportador de rasquetas consiste en un canal por el que se desplazan paletas, cuya sección se ajusta a la del canal. El material a transportar se ubica entre las paletas y con el movimiento de éstas se va desplazando (García, 2016).



**Figura 10-2:** Transportador de paletas

Fuente: (García, 2016)

- *Elevador de cangilones*: El elevador de cangilones consiste en una cadena sin fin que en sus extremos cuentan con una rueda dentada. A dicha cadena van unidos cangilones, a intervalos uniformes. La rueda dentada superior es motora y la inferior es conducida. El accionamiento de la rueda motora está dado por un motor a través de un reductor de velocidad. Los cangilones toman el material a transportar en la parte inferior, con el balde que viene invertido, gira y asciende hasta la cabeza superior donde lo descarga (Garcia, 2016).

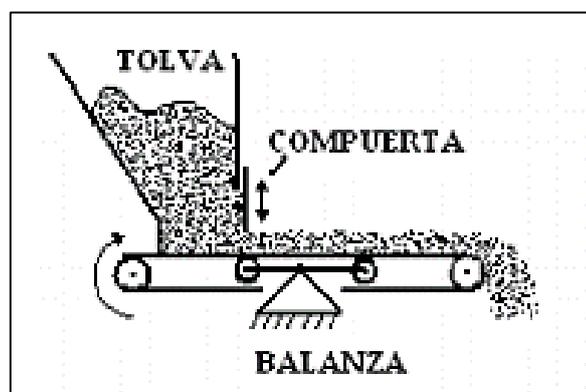


**Figura 11-2:** Elevador de canjilones

Fuente: (Garcia, 2016)

#### 2.1.9.2.2 *Dosificadores gravimétricos*

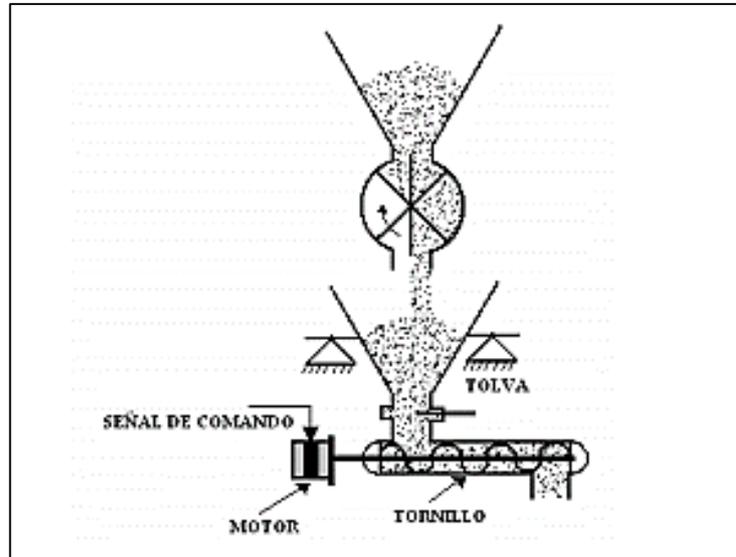
Hay un control continuo del despacho de la masa del producto, por la ponderación de la cinta transportadora al mismo tiempo. Mediante el control de la velocidad de la banda y de la posición de la compuerta a la salida de la tolva determinan la cantidad del producto sobre la banda (Torres, 2012).



**Figura 12-2:** Dosificador de banda rodante con balanza

Fuente: (Torres, 2012)

- *Dosificador de pérdida de peso:* En estos sistemas de dosificación la mayoría de dosificadores volumétricos pueden ser adaptados y transformados en dosificadores gravimétricos por pérdidas de peso (Torres, 2012).



**Figura 13-2:** Dosificador de pérdida de peso

**Fuente:** (Torres, 2012)

En el presente capítulo se logró esquematizar el proceso para la solución de un problema de diseño mecánico, es muy importante cumplir con todas las etapas del proceso de diseño, desde la identificación del problema hasta la implementación y las pruebas de funcionamiento son fundamentales para que la máquina construida funcione con eficacia.

Desde los inicios de la humanidad se aplicaron las bases del diseño mecánico como son la identificación del problema, los bosquejos y la implementación, en la actualidad los avances tecnológicos nos permiten optimizar los recursos y estudiar el funcionamiento de los materiales, mecanismos y elementos de máquina a un nivel micro y macroscópico, pero al mismo tiempo hemos destruido el planeta con la contaminación y el uso de combustibles fósiles. Por lo cual los nuevos desafíos como el mejoramiento de combustibles para recorrer el espacio en menor tiempo y hallar nuevos refugios para la humanidad son primordiales, además de la búsqueda de una cura para nuestro planeta.

## 2.2 Estudio de Proyectos

Los humanos necesitamos energía para cualquier función que desarrollamos, las casas se deben calentar, se necesita energía para el desarrollo de la industria y la agricultura. La energía es un proceso industrial que puede desarrollarse mediante el uso de diferentes fuentes, estas fuentes pueden ser renovables o no renovables, siendo las últimas las responsables de la contaminación ambiental. (LENNTECH, 2017)

Para mitigar el efecto de la quema de combustibles fósiles es necesario utilizar energías alternativas, siendo la biomasa, una fuente de energía renovable con un alto potencial de aprovechamiento. (INEEER, 2015)

Los gasificadores transforman biomasa en gas combustible, para que dicho proceso se desarrolle es necesario que se genere una hermeticidad interna, pudiendo así obtener gas de alta calidad. (TECNIDOS: Sistemas y Procesos, 2014)

Una mejora que se puede realizar para cumplir con la condición especificada con anterioridad es el uso de dosificadores, para ello se realiza un estudio de proyectos a nivel mundial y del Ecuador obteniendo que:

Existe diversidad de mecanismos para la dosificación de productos, los cuales se manejan bajo las diferentes necesidades de un proceso, es decir que la elección del mecanismo dosificador dependerá de los diferentes parámetros que intervienen en un determinado proceso. (Morales, 2010)

Un sistema de dosificación es un conjunto de procesos y operaciones, que tienen como función entregar la cantidad correcta de producto, con la participación mínima y a veces casi nula del personal humano. La producción se obtiene en porciones, cuando se completa la porción el equipo debe volver a llenar producto y procesar la siguiente porción. (Morales, 2010)

Los transportadores de sólidos volumétricos son utilizados en diferentes ámbitos, siendo los transportadores de tornillo los equipos más sencillos y económicos que existen para trasegar sólidos de un lado a otro de cualquier instalación. El mecanismo empleado es un tornillo sinfín cuyo diámetro se dimensiona en función de los requerimientos de

transporte de producto. Su empleo resulta óptimo en aplicaciones en las que se requieren movimientos de grandes volúmenes a distancias relativamente cortas. (TECNIDOS: Sistemas y Procesos, 2014)

A nivel mundial los dosificadores son utilizados generalmente en el ámbito alimenticio, en Colombia, por ejemplo, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, ha instalado un separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín en Cenicafé con el fin de mejorar la calidad de la materia prima que llega a los comederos y evitar daños a las máquinas que hacen parte del proceso. En este dispositivo hidromecánico se remueve por flotación material liviano que está conformado por frutos de café defectuosos, como frutos vanos, muy brocados, secos o provenientes de plantas enfermas, entre otros, lo mismo que impurezas livianas como hojas y trozos de ramas. Obteniendo varias ventajas tras la instalación del transportador como por ejemplo: control del flujo de café a la despulpadora, que se traduce en eficiencia del proceso; disminución de café con daño mecánico por mejor funcionamiento de los equipos; disminución de los daños a los equipos por remover los objetos duros y densos. (Sanz, y otros, 2014)

Otro claro ejemplo del uso de este tipo de transportador se presenta en un estudio realizado por el Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México DF, en el que se desarrolla un sistema de dosificación automático de alimentos para equinos basado en el principio de tornillo sin fin, obteniendo resultados favorables como la precisión que se tiene en cuanto a la dosis de alimento que se suministra a cada caballo además de un ahorro de energía eléctrica y la minimización del espacio que implica la actividad alimenticia de caballos en un hípico pudiendo verse así las virtudes de un comedero automático. (Franco, y otros, 2010)

De igual manera en la ciudad de Pereira, se presenta el diseño y construcción de un prototipo de un dosificador de alimento concentrado para cerdos, como respuesta a las falencias que se presentan en la alimentación de porcinos, obteniendo como resultado una mejora en el manejo de dicho proceso ya que se aprovecha al máximo cada bulto de concentrado, evitando desperdicios, aumentando la posibilidad de una alimentación adecuada, disminuyendo horas de trabajo en el operario e incrementando la eficiencia a la par que se tecnifica el método de alimentación. (Osipna, y otros, 2013)

En el proyecto: “Diseño y montaje de un sistema dosificador para galletas tipo cracker fermentadas” de la Universidad Tecnológica de Pereira se menciona varios aspectos muy importantes como resultado de la investigación, entre los que se destaca la comprobación de que implementar sistemas automatizados de dosificación, reduce el tiempo de manipulación del producto por lo que la probabilidad de contaminación es menor, además de afirmar que al reducir la carga laboral de los operarios también se reduce el estrés, lo que permite que el trabajador este más relajado teniendo inclusive tiempo suficiente para realizar actividades de mantenimiento como es el aseo de la máquina y del puesto de trabajo. (Orozco, y otros, 2016)

En el Ecuador al igual que en el resto del mundo el uso de dosificadores se lo ha implementado también en el área agrícola, como lo muestra el proyecto: “Diseño y construcción de un dosificador de tres productos en forma secuencial”, mismo que se enfoca en la distribución de granos, en dicha investigación se menciona que los tornillos evacuadores son los elementos más importantes en los dosificadores de sólidos ya que éstos proporciona el grano evacuado, y éste determina la precisión máxima que se puede obtener en el proceso. (Rivera, 2002)

También es importante hacer referencia a la investigación desarrollada en la Escuela Superior Politécnica Nacional sobre el diseño y simulación de una planta dosificadora automática de suplemento nutricional para ganado lechero, en el que se diseña un dosificador según las necesidades y los establecimientos destinados para el ordeño, siendo fundamental que el ruido emitido sea mínimo, en las pruebas realizadas se menciona la importancia de regular la velocidad de dosificación, ya que la misma determinará el adecuado funcionamiento del dosificador. (Carrillo, 2015)

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

#### **Estudio de Alternativas**

En este capítulo se realizará el análisis y estudio de las alternativas para el diseño y las características de calidad, durabilidad, funcionalidad y exactitud de la máquina dosificadora de biomasa forestal, para llegar a cumplir este objetivo se requiere seguir un proceso de selección en el cual, por medio de un procedimiento ordenado y adecuado se llegará a obtener un diseño óptimo, que satisfaga completamente las necesidades requeridas, garantizando la funcionalidad del equipo y los resultados que se obtengan de ella.

#### **2.3 Determinación de las especificaciones de la máquina**

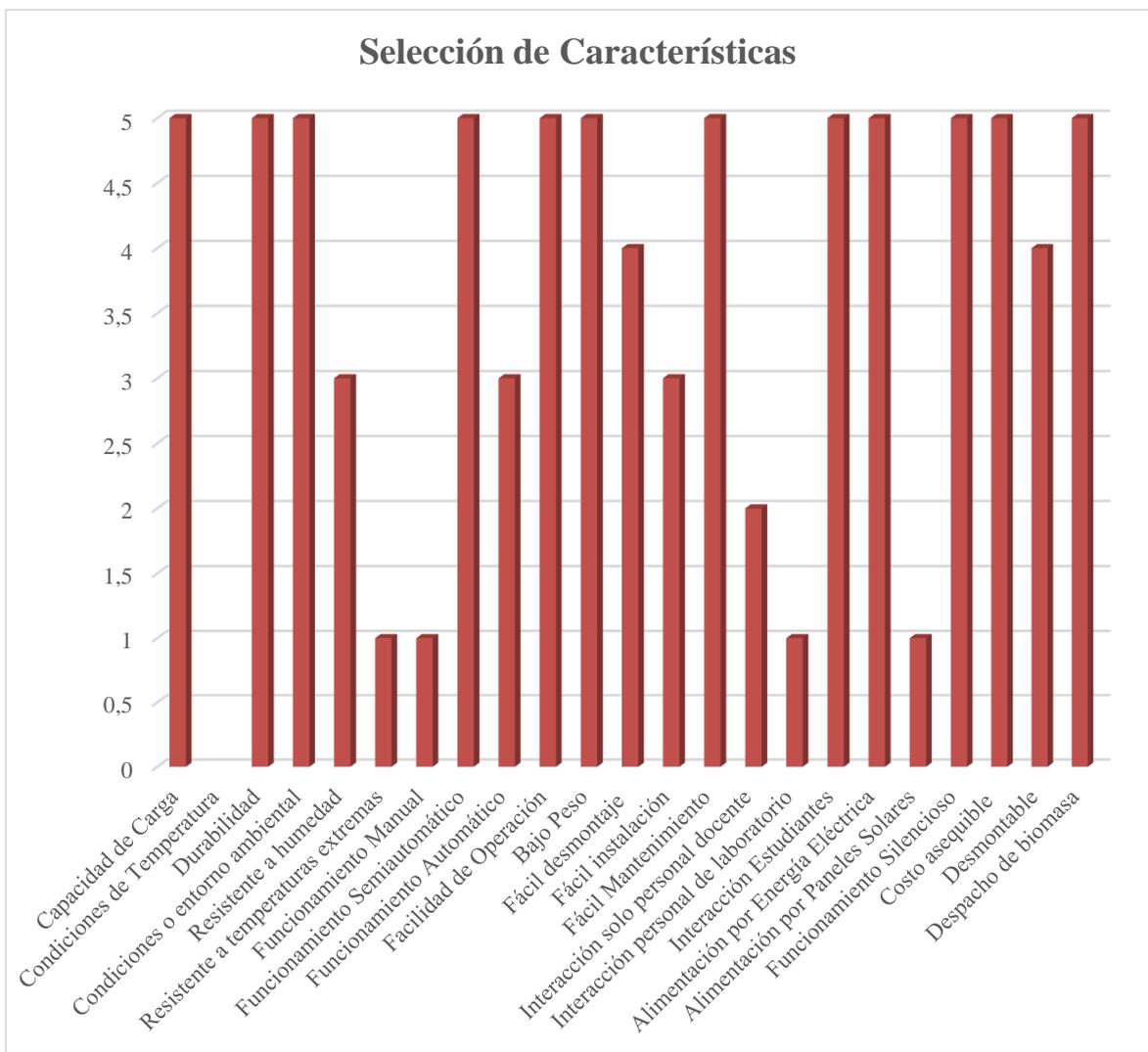
La máquina que se pretende desarrollar debe cumplir con las especificaciones y requerimientos que especifica el usuario de este proyecto, cuya actividad principal es obtener gas combustible para la transformación de energía, la cual la biomasa forestal debe ser transportada por la máquina que se pretende desarrollar en este proyecto.

**2.3.1 La matriz QFD (Quality function deployment).** O más conocido como la casa de la calidad es una herramienta de la ingeniería concurrente muy utilizada en el desarrollo de un producto nuevo o en la mejora de uno ya existente, la cual permite determinar las especificaciones técnicas de la máquina, es un método globalizador cuyo objetivo primordial es considerar las necesidades y requerimientos que tiene el cliente, para de esta forma realizar una planificación que permita mantener los parámetros de calidad durante la vida útil de la máquina.

Para obtener de manera adecuada un análisis eficiente de la matriz QFD se debe tener en cuenta dos parámetros importantes; la voz del usuario, en este caso él será el encargado de plantear las necesidades que tiene y las características que debe tener el producto para satisfacer dichas necesidades y la voz del ingeniero, que es quien asimila los requerimientos del cliente y mediante parámetros técnicos evalúa cuales son las

características que tienen más influencia al momento de realizar el diseño del equipo, estos se denominaran parámetros preponderantes o influyentes y esos parámetros se toman en cuenta al momento de plantear las posibles soluciones.

**2.3.2 Voz del usuario (VOC).** Para obtener las características que debe cumplir el dosificador se parte de un test aplicado a personal calificado en el uso del gasificador (Anexo 1) en las que se recaba información de acuerdo con las necesidades del Gasificador tipo Downdraft ubicado en el laboratorio de la Facultad de Mecánica, determinando que las características con las que debe cumplir el gasificador son:



**Gráfico1-3** Características Dosificador  
Fuente: El autor

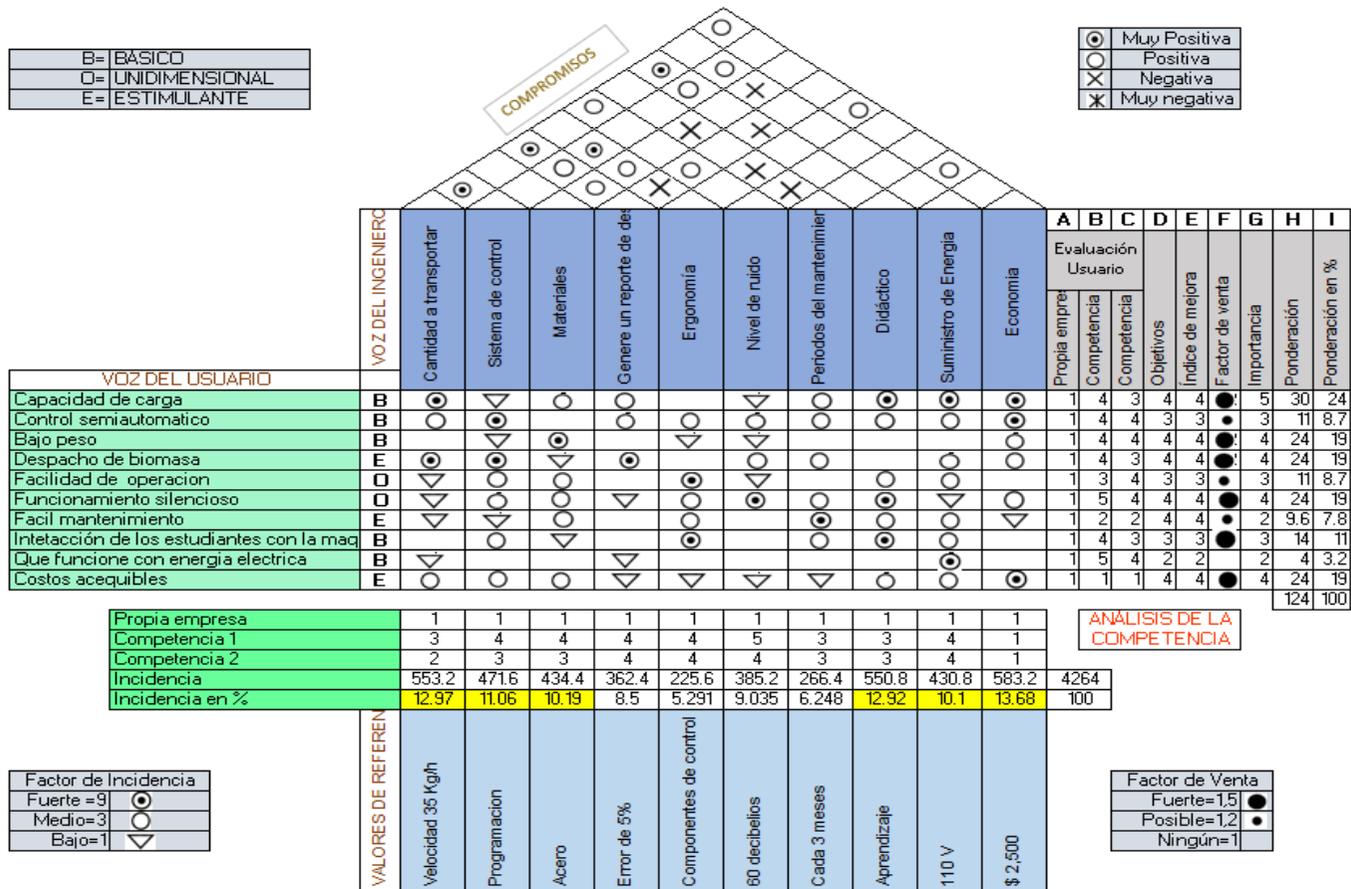
- Capacidad de carga.
- Condiciones de temperatura.
- Durabilidad.
- Condiciones o entorno ambiental.
- Funcionamiento semiautomático.
- Facilidad de operación.
- Bajo peso.
- Fácil mantenimiento.
- Interacción de los estudiantes con la máquina.
- Funcione con energía eléctrica.
- Despacho de biomasa.
- Funcionamiento silencioso
- Que tenga un costo accesible.

**2.3.3 *Voz del ingeniero.*** Una vez analizados los requerimientos del auspiciante se procede a traducirlos de forma técnica y dando como resultado las siguientes características:

- Cantidad a transportar.
- Sistema de control.
- Ergonomía.
- Materiales.
- Periodos de mantenimiento.
- Didáctico.
- Suministro de energía.
- Nivel de ruido.
- Economía.

**2.3.4 *Resultados de la matriz QFD.*** Para elaborar el análisis de la matriz QFD se tomó el procedimiento propuesto por Carlos Riba. En el caso del dosificador de biomasa forestal se realizaron modificaciones con respecto al modelo, con el propósito de adecuar el método al proyecto.

Tabla 1-3 Casa de la calidad.



Fuente: El Autor

**2.3.5 Conclusiones de la matriz QFD.** Analizando los resultados obtenidos en el diagrama QFD o casa de calidad, podemos concluir que los requerimientos técnicos más importantes son los siguientes:

- *Flujo másico.* El dosificador debe ser capaz de alimentar continuamente una cantidad de 25.71 kg/h, para abastecer la necesidad del gasificador teniendo en cuenta los parámetros indicados para obtener un resultado eficiente.
- *Aprendizaje.* Un aspecto importante ya que la máquina permanecerá en el laboratorio para realizar la práctica respectiva siendo la maquina didáctico.
- *La economía.* El dosificador debe prestar características técnicas de seguridad, pero teniendo en cuenta el costo final de la máquina, ya que este factor hace que el producto sea didáctico frente a otras máquinas.
- *Programación.* Una buena programación permitirá obtener una buena transportación que se esté realizando, cuidando de utilizar los mejores elementos para obtener dichos resultados.
- *Energía.* La máquina debe estar apta para funcionar con 220 V ya que esto también reduce un cierto porcentaje en la economía.
- *Material.* El dosificador debe tener las características deseadas con el material adecuado para que tenga una larga vida útil y resista la temperatura.

De todos estos parámetros el cumplimiento de la velocidad del material a transportar y el aprendizaje. Resultan como los factores primordiales para realizar el diseño del dosificador.

**Tabla 2-3** Especificaciones técnicas de la máquina

Empresa cliente LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR		Producto  Dosificador de biomasa forestal		Fecha inicial: 2016-10-03  Fecha final: 2017-03-30
Diseñadores:  Juan Carlos Fonseca P.				Página 1.
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Flujo másico 25.71 kg/h
Materiales		D	D	Acero
Construcción y montaje		C	R	Que pueda transportar biomasa forestal
		C	R	Montaje manual.
Vida útil y mantenimiento		D	D	La máquina debe transportar con una confiabilidad de al menos 90 %
		D	R	La máquina debe ser de fácil mantenimiento, intervalos de servicio.
Energía		C	R	Energía eléctrica de 220 v
Dimensiones		D	R	La máquina constará de un módulo y la altura máxima de la maquina será de 1.2 m.
Seguridad y ergonomía		D	R	La máquina debe tener elementos de seguridad.
		C	R	La máquina debe tener controles accesibles.
Propone: M = Marketing, C = Cliente, D = Diseño, P= producción, F= Fabricación. R/D: R = Requerimiento; D = Deseo, MR = Modificación de Requerimiento.				

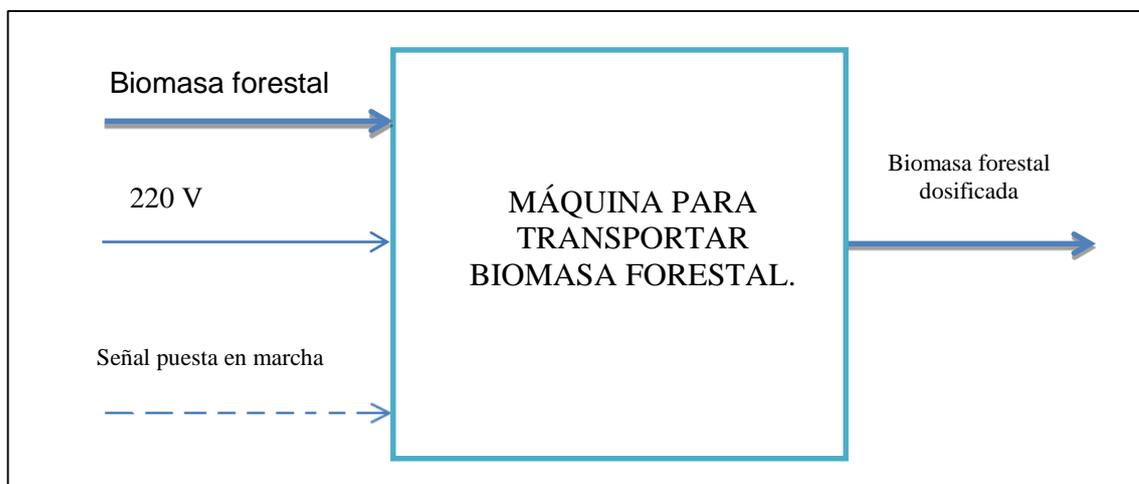
Fuente: Autor

## 2.4 Análisis funcional

Con el fin de resolver el problema técnico se requiere de un esquema en el cual se identifiquen las entradas y salidas según las especificaciones del diseño, la función primaria de la máquina es transportar biomasa forestal, por tanto que las funciones secundarias son aquellas que permiten que la primaria se realice eficientemente teniendo en cuenta todos los parámetros principales.

Luego de determinar el respectivo proceso que realiza la máquina, con sus respectivas funciones tanto primarias como secundarias, se desarrolla el diagrama de funciones asignando a los niveles 0 para funciones primarias y 1 para funciones secundarias.

Para los diagramas funcionales se tomarán en cuenta los parámetros de entrada y salida definidas como: Materia, energía y control las cuales están definidas de acuerdo a la función que se requiera. Estas entradas para la maquina serán biomasa forestal, energía eléctrica y la señal de control.



**Figura 14-3:** Función primaria de la máquina

Fuente: El autor

Como se puede observar en la figura, las entradas de la máquina para transportar biomasa forestal son:

- Biomasa forestal
- Fuente de energía de 220 V
- Señal de puesta en marcha

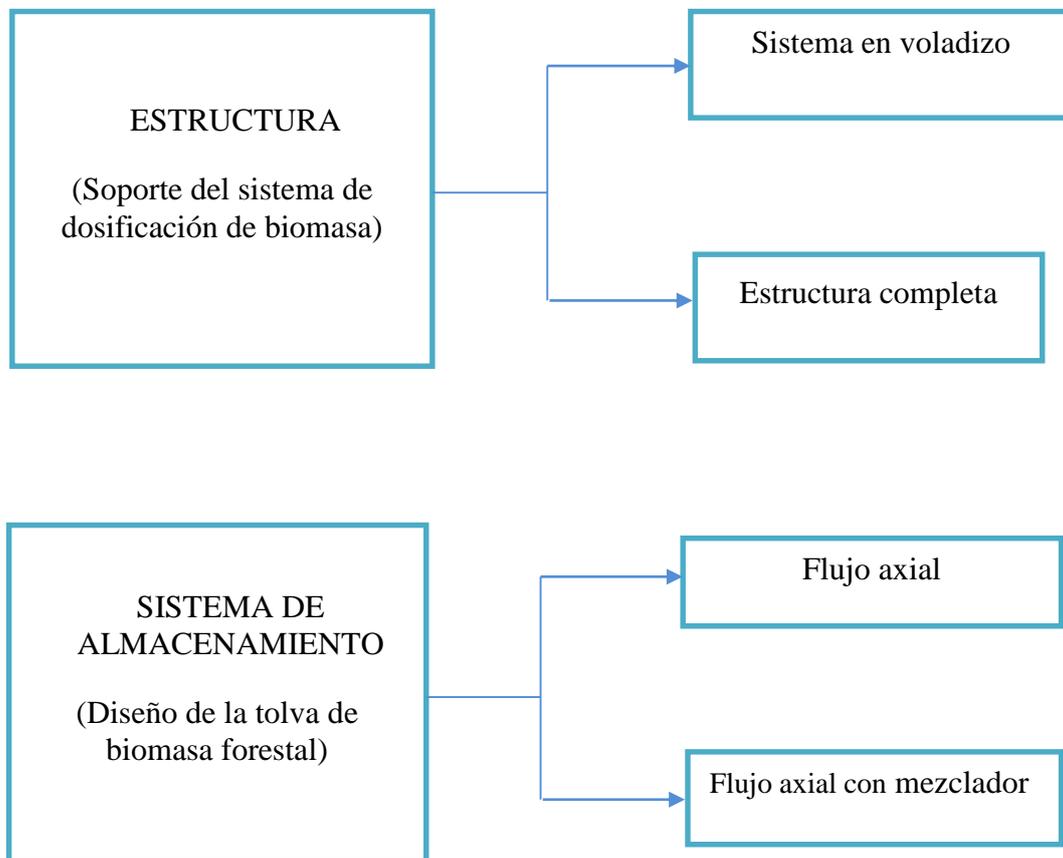
Las salidas son briquetas con una humedad comprendida entre el 15% y 25% en base seca, y un tamaño entre 5 y 8 cm de lado promedio:

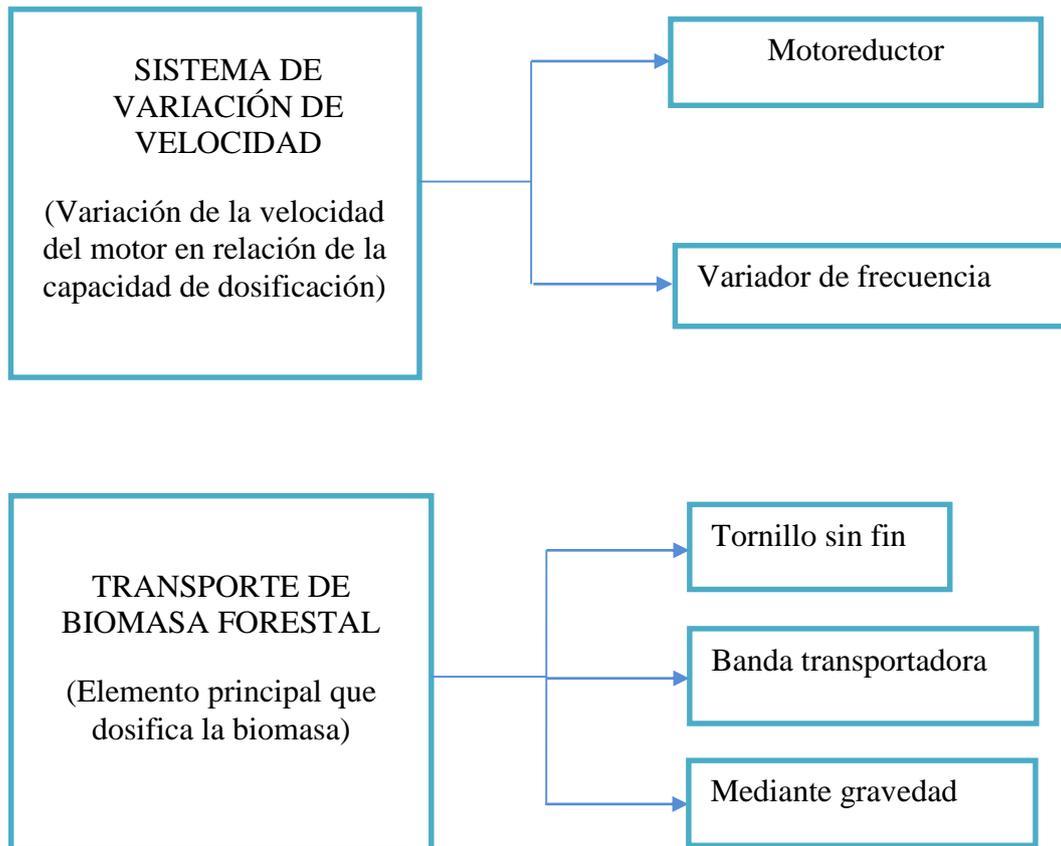
- Biomasa forestal dosificada

Se requiere el desarrollo de un nivel adicional, de los diagramas funcionales para tener una ampliación que conducirá a establecer determinadas soluciones. En este caso tendremos las funciones detalladas que se requieren para establecer el nivel uno teniendo como resultado la eficiencia de la máquina.

El diagrama de funciones secundarias de la máquina, se van a analizar los subsistemas propuestos, para luego elegir entre ellos los que se van a descartar de acuerdo al diseño establecido, lo cual especifica cada una de las funciones secundarias de la maquina con sus respectivos sistemas, los cuales se muestran a continuación:

En la figura se puede observar el diagrama de funciones de la máquina, en donde se observan las opciones para la generación de las alternativas.





**Figura 15-3:** Diagrama de funciones secundarias de la máquina

Fuente: El autor

## 2.5 Alternativas de solución para la máquina

La máquina diseñada debe cumplir con la función principal la cual es la dosificación de biomasa forestal para el gasificador tipo Downdraft, para lograr este objetivo cada uno de sus subsistemas debe ser diseñado para que cumpla su función de manera eficiente y segura. En esta sección se realizará el análisis de los sistemas más importantes del diseño y de van a plantear dos opciones para seleccionar la que mejor se adapte a nuestra necesidad, creando así una solución adecuada que permita que el diseño final presente las mejores características para los fines pertinentes, asegurando la calidad, seguridad y costo accesible para su implementación.

En la definición de módulos se realiza la división del producto en varios bloques funcionales teniendo en cuenta sus parámetros principales. En un diseño donde se toma en cuenta la asignación de módulos, que se obtienen como resultado la reducción de costos, facilidad de mantenimiento de la máquina y proporciona los mejores resultados del ensayo.

Las opciones de diseño que se van a analizar pertenecen a cuatro subsistemas importantes en el funcionamiento de la máquina, los cuales son:

- Sistema de variación de velocidad
- Estructura
- Sistema de almacenamiento
- Transporte de biomasa forestal

El sistema que va a controlar la variación de velocidad

### **2.5.1 *Sistema de variación de velocidad***

Sistema que va a controlar la velocidad del tornillo sinfín durante la dosificación de biomasa, para calcular la velocidad se ha tomado en cuenta la capacidad del gasificador la cual es 25.71 kg/h. El sistema de variación de velocidad es uno de los subsistemas primordiales de la máquina de dosificación, ya que el tornillo debe girar a bajas revoluciones para cumplir con la capacidad requerida, se debe buscar un sistema que nos permita llegar a obtener muy bajas revoluciones, de forma segura y eficiente teniendo en cuenta costos y facilidades constructivas. Para lograr este nivel de velocidad se han optado por dos opciones las cuales se detallan a continuación:

*2.5.1.1 Motor y reductor de velocidad.* Si se selecciona un motor y un reductor de velocidad, se requiere de un motor y el diseño de un sistema de engranajes, o un sistema de poleas y correas, dicho reductor consta principalmente de:

- El eje conductor es el eje que dispone del movimiento que queremos trasladar o transformar.
- El eje conducido es el eje que tenemos que mover.
- Polea conductora es la que está unida al eje conductor.
- Polea conducida es la que está unida al eje conducido.

Para lograr el efecto de reducción la polea conductora debe ser menor que la conducida, por lo que la velocidad de giro del eje conducido será menor que la del eje conductor.

**2.5.1.2 Motoreductor.** Un motoreductor es una combinación entre un motor y un reductor de velocidad del cual se pueden obtener directamente velocidades angulares bajas con un alto torque.

En la figura se muestra un motoreductor, el cual está conformado por un motor que puede ser accionado mediante electricidad o combustibles fósiles, y un tren de engranajes con una capacidad de carga a rotura y a desgaste.



**Figura 16-3:** Motoreductor

Fuente: (MOTOREDUCTORES ROSSI, 2010)

#### **Ventajas:**

- No se requiere de la selección de un motor y el diseño de un sistema de reducción de velocidad.
- En aplicaciones en las que se requieren bajas velocidades son muy eficientes.
- Utilizan poco espacio

#### **Desventajas**

- Alto costo
- Se las puede usar en aplicaciones con requerimientos de alto torque y bajas velocidades.

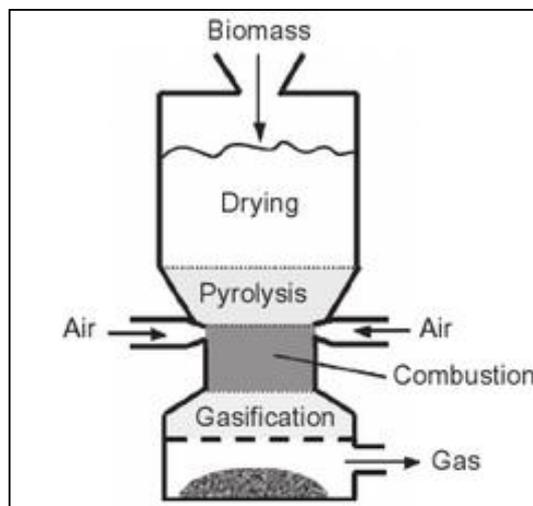
### **2.5.2 Sistema de dosificación**

El sistema de dosificación cumple con la tarea de entregar el combustible al bioreactor y según el diseño es posible ubicar el sistema de dosificación de forma vertical o de forma horizontal.

2.5.2.1 *Dosificación mediante gravedad.* En el caso de un gasificador alimentado verticalmente se usa un reactor con un cilindro y una tolva ubicada en la parte superior del bioreactor.

La principal ventaja de esta opción es la posibilidad de usar la gravedad para realizar la alimentación de la biomasa, pero esta alternativa no permite el funcionamiento del dosificador durante tiempos prolongados.

Además del diseño de la geometría de la tolva para asegurar una capacidad de dosificación constante para evitar el llenado prematuro del biorreactor.

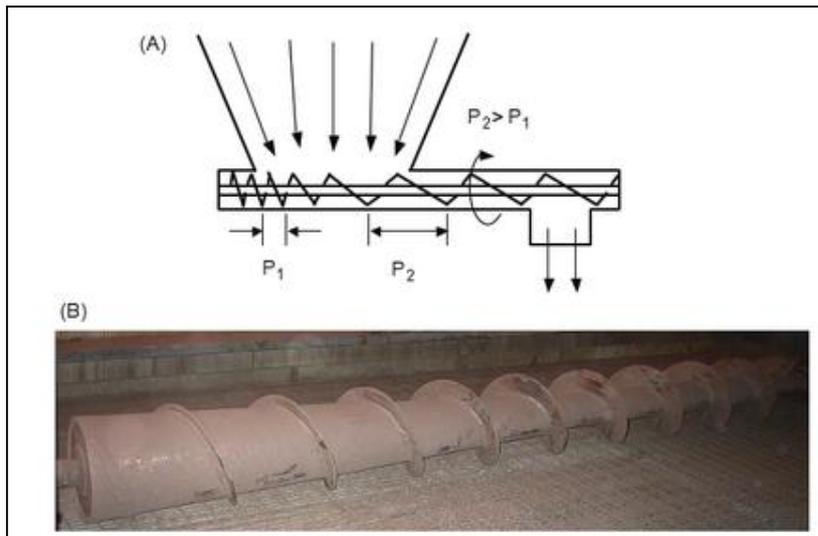


**Figura 17-3:** Bioreactor alimentado verticalmente

Fuente: (BASU, 2013)

2.5.2.2 *Dosificación horizontal de tornillo sin fin.* En el caso de elegir un dosificador horizontal se requiere un mecanismo para la dosificación ya que mediante la gravedad ya no es posible alimentar la biomasa hacia el reactor.

Los posibles mecanismos que pueden dosificar biomasa hacia un gasificador tipo downdraft es un tornillo sin fin el cual requiere de un motor para generar el movimiento del eje del tornillo. Como se muestra en la figura 18-3.



**Figura 18-3:** Bioreactor alimentado con tornillo sin fin

Fuente: (BASU, 2013)

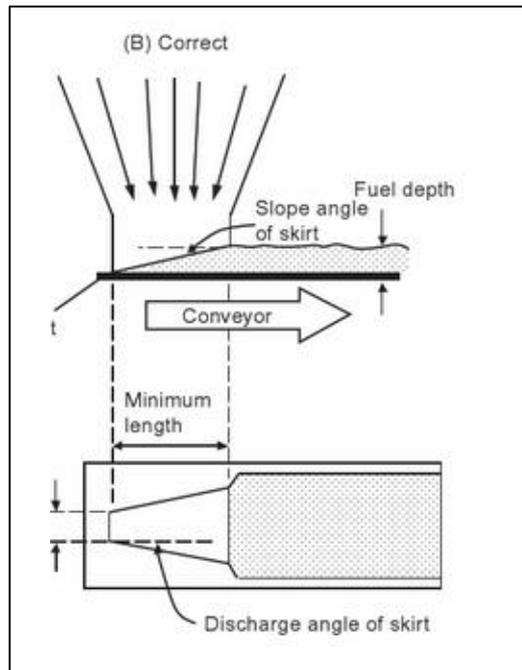
### Ventajas

- Puede desplazar partículas sólidas y además permite medir la dosificación mediante la velocidad del motor con el cual es controlado.
- Con un tornillo sin fin se puede controlar fácilmente la tasa de flujo de partículas.
- Debido a la forma del tornillo sin fin es adecuado para cámaras de combustión ya que puede evitar el retorno de los gases de combustión.

### Desventajas.

- Para aplicaciones en los que las partículas de la biomasa sean de un tamaño relativamente grande se requiere la construcción de tornillos sin fin ya que no existen en el mercado.
- El costo de los elementos necesarios para implementar un sistema de dosificación mediante tornillo sin fin es elevado con respecto a un sistema de dosificación por gravedad.

*2.5.2.3 Dosificación horizontal de banda transportadora.* Una banda transportadora puede transportar el material desde una tolva hacia el reactor de una forma muy sencilla mediante la gravedad para alimentar con biomasa el gasificador.



**Figura 19-3:** Bioreactor alimentado con banda transportadora

Fuente: (BASU, 2013)

#### **Ventajas:**

- Su adquisición es relativamente fácil para aplicaciones de transporte de desechos sólidos.
- Es imposible que se produzca un atascamiento de los sólidos a ser transportados.

#### **Desventajas.**

- No permite cuantificar la tasa de alimentación de biomasa hacia el bioreactor
- Debido a que trabaja a la atmósfera no permite la alimentación de biomasa hacia la cámara de combustión de un gasificador debido a que existiría una fuga de los gases de combustión.

#### **2.5.3 Sistema de almacenamiento**

Para el sistema de almacenamiento se han considerado dos opciones, la primera una tolva desde la cual la biomasa va a ser transportada hacia el tornillo sin fin, la segunda opción contempla una tolva adaptada con un mecanismo que va a utilizar el eje motriz para revolver la biomasa y así evitar un atascamiento del material en la tolva.

2.5.3.1 *Sistema de almacenamiento con tolva.* Una tolva permite almacenar una gran cantidad de material a granel o en polvo, tiene forma cónica para facilitar el descenso del material.

**Ventajas:**

- Debido a su forma puede almacenar grandes cantidades de material.
- Tiene un bajo costo de fabricación
- La fabricación de una tolva es sencilla y no requiere de un proceso de manufactura especializada.

**Desventajas.**

- Existe la posibilidad de que se produzca una interrupción del flujo de materia prima dentro de la tolva.

2.5.3.2 *Sistema de almacenamiento con tolva y mezclador.* La adaptación de un mezclador a una tolva permite evitar por completo la posibilidad de una interrupción de flujo de material desde la tolva hacia el sistema de dosificación, el mezclador es simple y tiene únicamente la función de revolver la biomasa contenida dentro de la tolva. Como se muestra en la figura.



**Figura 20-3:** Dosificador de biomasa con mezclador

Fuente: (BASU, 2013)

#### **2.5.4 Estructura**

La estructura puede ser construida individualmente para luego ser apoyada en el andamio que se halla en el gasificador, pero debido a que el andamio esta al momento soportado con vigas de madera se considera de baja confiabilidad por lo cual se va considerar la opción de que el gasificador soporte al dosificador de biomasa.

*2.5.4.1 Estructura independiente.* Una estructura independiente permite el apoyo del dosificador de biomasa junto al gasificador de una forma totalmente desmontable, facilitando de esta forma el mantenimiento de los diferentes sistemas de dosificación y gasificación.

##### **Ventajas:**

- Tiene un fácil mantenimiento y el desmontaje de piezas es más sencilla
- En caso de que se produzca un daño en el gasificador el tornillo sin fin no vería afectado al ser dos estructuras independientes

##### **Desventajas.**

- Existe la posibilidad de que se produzca una interrupción del flujo de materia prima dentro de la tolva.
- Altos costos de construcción

*2.5.4.2 Estructura soldada al gasificador.* Si se fusiona la estructura al gasificador se obtiene un dosificador más compacto y de una construcción más económica.

##### **Ventajas:**

- Costos más bajos de construcción.
- Los componentes del dosificador para el gasificador utilizan poco espacio.

## Desventajas.

- Debido a que el dosificador se halla soldado al gasificador no se puede realizar el desmontaje para realizar el mantenimiento.

### 2.6 Alternativas de módulos

Para determinar las diferentes alternativas de módulos se combinan entre si las soluciones para cada función, tomando en cuenta que los componentes que sean compatibles entre sí, para así generar dos alternativas viables que puedan ser analizadas cualitativamente.

El resultado de la combinación de las alternativas se muestra en la tabla, en la cual se exponen dos alternativas de solución partiendo de dos métodos para dosificar la biomasa hacia el gasificador.

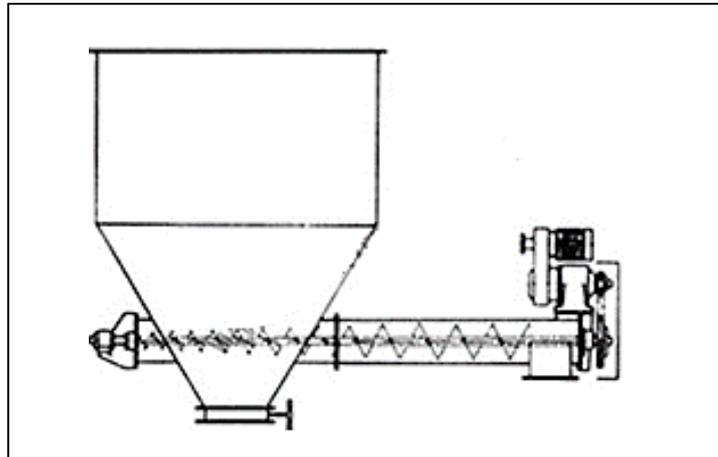
De las dos opciones mostradas se seleccionará la mejor opción usando el método ordinal corregido de criterios ponderados.

**Tabla 3-3** Combinación de alternativas

Función	Componente	
Estructura	Estructura independiente	
Variación de velocidad	Variador de frecuencia	Sistema de poleas y correas
Almacenamiento	Tolva con mezclador	
Sistema de dosificación	Tornillo sin fin	Por gravedad
Soluciones	Alternativa 1	Alternativa 2

Fuente: Autor

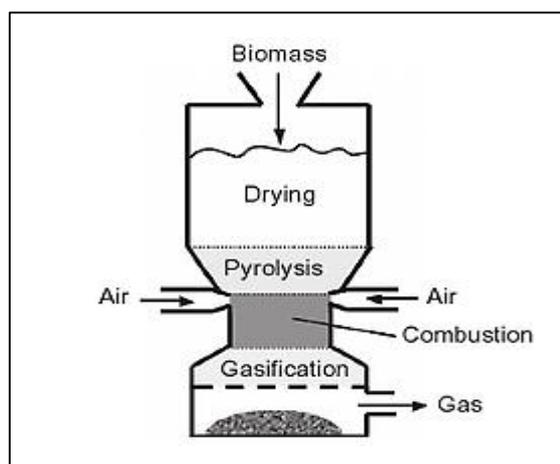
**2.6.1 Alternativa número uno.** La alternativa número uno consiste en una máquina para dosificar biomasa con una estructura independiente y totalmente desmontable, posee una tolva para almacenar la biomasa y un mezclador para evitar el atascamiento dentro de la tolva.



**Figura 21-3:** Alternativa 1 para el diseño del modulo

Fuente: (BASU, 2013)

**2.6.2 Alternativa número dos.** La segunda opción consiste en una máquina para dosificar biomasa con una estructura independiente y totalmente desmontable, posee una tolva para almacenar la biomasa y un mezclador para evitar el atascamiento y a su vez transportar la biomasa hacia el bioreactor. Esta máquina tiene un costo de fabricación relativamente bajo, pero requiere de un diseño preciso para la geometría de la boca de la tolva para obtener una dosificación constante.



**Figura 22-3:** Alternativa 2 para el diseño del modulo

Fuente: (BASU, 2013)

## 2.7 Evaluación de soluciones

Durante el diseño de la maquina se hace necesaria una evaluación de alternativas, que sirva de base para la posterior toma de decisiones, que contemplen todos los parámetros de diseño. En esta evaluación se deben ponderar distintos aspectos de diseño correspondientes a la máquina.

Para tomar la mejor decisión siempre deben estar presentes dos elementos importantes, los cuales son:

- Alternativas. Como mínimo debe disponerse de dos alternativas cuyas características deben ser diferentes para que se pueda hacer un análisis de las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas.
- Criterios. Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, estos deben estar ordenados dependiendo de la importancia del criterio en el diseño final del equipo.

**2.7.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados.** Este método nos permite decidir entre diferentes soluciones, basta conocer el orden de preferencia de evaluación. Por lo mismo se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados específicos para la máquina.

Este método se basa en tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se evalúa de la siguiente forma.

- 1, si el criterio de las filas es superior (o mejor,  $>$ ) que el de las columnas
- 0,5, si el criterio de las filas es equivalente ( $=$ ) al de las columnas
- 0, si el criterio de las filas es inferior (o peor,  $<$ ) que el de las columnas

**2.7.2 Criterios de valoración del módulo,** La valoración se realiza tomando en cuenta todos los parámetros del módulo que tenga mayor eficiencia que nos permita obtener los parámetros requeridos.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes son:

- Precio. Tener en consideración la relación utilidad/precio aceptable para el diseño de la máquina.
- Transporte de diferentes tipos de biomasa. La máquina debe ser capaz de transportar diferentes tipos de residuos sólidos
- Precisión. Es importante que la máquina tenga la precisión respectiva para evitar la fuga de gases desde el bioreactor.
- Carga. La máquina va a estar expuesta a diferentes tipos de carga y tener la capacidad de la carga máxima especificada.

En el siguiente cuadro de evaluación, se analiza cada parámetro de acuerdo a los valores mencionados y a la aplicación de la Norma CEMA, “Estándares de Diseño de Transportadores”, que es una guía aplicada en el diseño de transportadores sus características, capacidades, selección de elementos, operación, mantenimiento y ventajas bajo las más ampliamente variadas condiciones de operación:

**Tabla 4-3** Evaluación de cada criterio

<b>Manual CEMA &gt; Precisión &gt; Precio &gt; transporte diferentes tipos biomasa &gt; carga</b>							
Criterio	Norma CEMA	precio	Transporte de diferentes tipos de biomasa	Precision	carga	$\sum +1$	Ponderación
Norma CEMA		1	1	1	1	5	0.333
Precio	0		1	0	1	3	0.200
Transporte diferentes tipos de biomasa	0	0		0	1	2	0.133
Precisión	0	1	1		1	4	0.267
Carga	0	0	0	0		1	0.066
Sumatoria						15	1

Fuente: El autor

Luego se requiere evaluar cada una de las soluciones respecto a los criterios para poder conocer el valor de la ponderación de cada parámetro.

- Alternativa 1. Máquina con soportes para el dosificador, sistema de transmisión mecánica, con transportador de tornillo sinfín y tolva de almacenamiento.
- Alternativa 2. Máquina con soporte fijo al dosificador, que a su vez cumple con la función de dosificar la biomasa al bioreactor, y tolva de almacenamiento.

**Tabla 5-3** Evaluación con respecto a la norma CEMA

	<b>Solución 1 &gt; Solución 2</b>			
Norma CEMA	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.667
Solución 2	0		1	0.333
3Sumatoria			3	1

Fuente: El Autor

**Tabla 6-3** Evaluación con respecto al precio

	<b>Solución 1 &lt; Solución 2</b>			
Precio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.333
Solución 2	1		2	0.667
Sumatoria			3	2

Fuente: El Autor

**Tabla 7-3** Evaluación con respecto a diferentes tipos de biomasa

	<b>Solución 1 &gt; Solución 2</b>			
Diferentes tipos de biomasa	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.667
Solución 2	0		1	0.333
Sumatoria			3	1

Fuente: El Autor

**Tabla 8-3** Evaluación con respecto a la precisión

	<b>Solución 1 &gt; Solución 2</b>			
Precisión	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.5
Solución 2	1		2	0.5
Sumatoria			4	1

Fuente: El Autor

**Tabla 9-3** Evaluación con respecto a la carga admisible por el dosificador

	<b>Solución 1 = Solución 2</b>			
Carga	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.5
Solución 2	1		2	0.5
Sumatoria			4	1

Fuente: El Autor

Tabla de conclusiones. En la tabla número 10 se determinan las conclusiones obtenidas luego de realizar las sumatorias de las evaluaciones de cada una de las soluciones planteadas. En la tabla se puede observar cual es la solución que mejor se ajusta a los requerimientos del usuario.

**Tabla 10-3** Tabla de conclusiones respecto al módulo

Conclusión	Norma CEMA	Precio	Transporte diferentes tipos biomasa	Precisión	Carga	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0.222	0.067	0.088	0.133	0.033	0.543	1
Solución 2	0.111	0.133	0.044	0.133	0.033	0.454	2

Fuente: El Autor

**2.7.3 Criterios de valoración del montaje en el gasificador tipo DOWNDRAFT,** La valoración se realiza tomando en cuenta todos los parámetros del tipo de montaje con las mejores características de dosificación de biomasa hacia el bioreactor.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes son:

- Precio. Tener en consideración la relación utilidad/precio aceptable para el diseño de la máquina.
- Adaptación al gasificador, tiene en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje. Para el montaje se usa un acople entre el dosificador y el bioreactor debe evitar la interferencia entre el proceso de gasificación y de dosificación.

- Precisión. Es importante que el acople tenga la precisión respectiva para evitar la fuga de gases desde el bioreactor.

En el siguiente cuadro de evaluación, se analiza cada parámetro de acuerdo a los valores mencionados:

**Tabla 11-3** Evaluación de cada criterio

<b>Adaptación con gasificador &gt; Precisión &gt; Precio</b>					
Criterio	Adaptación al gasificador	Precisión	Precio	$\sum_{+1}$	Ponderación
Adaptación al gasificador		1	1	3	0.500
Precisión	0		1	2	0.333
Precio	0	0		1	0.167
Sumatoria				6	1

Fuente: El autor

Luego se requiere evaluar cada una de las soluciones respecto a los criterios para poder conocer el valor de la ponderación de cada parámetro.

- Alternativa 1. Montaje con acople horizontal en el cual el dosificador ingresa en el gasificador de forma perpendicular al eje del bioreactor.



**Figura 23-3:** Acople horizontal

Fuente: (SCREW CONVEYOR, 2010)

- Alternativa 2. Montaje con acople vertical ubicado en la parte superior del gasificador para realizar una dosificación de biomasa de forma vertical al eje del bioreactor.



**Figura 24-3:** Acople vertical

Fuente: (SCREW CONVEYOR, 2010)

**Tabla 12-3** Evaluación de la adaptación del dosificador con el gasificador

<b>Solución 1 &gt; Solución 2</b>				
<b>Adaptación al gasificador</b>	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.667
Solución 2	0		1	0.333
Sumatoria			3	1

Fuente: El Autor

**Tabla 13-3** Evaluación con respecto a la precisión

<b>Solución 1 &gt; Solución 2</b>				
Precisión	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.667
Solución 2	0		1	0.333
Sumatoria			3	1

Fuente: El Autor

**Tabla 14-3** Evaluación con respecto al precio

<b>Solución 1 &lt; Solución 2</b>				
Precio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.333
Solución 2	1		2	0.667
Sumatoria			3	1

Fuente: El Autor

Tabla de conclusiones. En la tabla número 17 se determinan las conclusiones obtenidas luego de realizar las sumatorias de las evaluaciones de cada una de las soluciones planteadas. En la tabla se puede observar cual es la solución que mejor se ajusta a los requerimientos del usuario.

**Tabla 15-3** Tabla de conclusiones respecto al tipo de montaje del dosificador en el bioreactor

<b>Conclusión</b>	<b>Adaptación al gasificador</b>	<b>Precisión</b>	<b>Precio</b>	$\Sigma$	<b>Prioridad</b>
Solución 1	0.335	0.222	0.055	0.612	1
Solución 2	0.167	0.111	0.11	0.380	2

Fuente: El Autor

## **2.8 Diseño de la máquina dosificadora de biomasa**

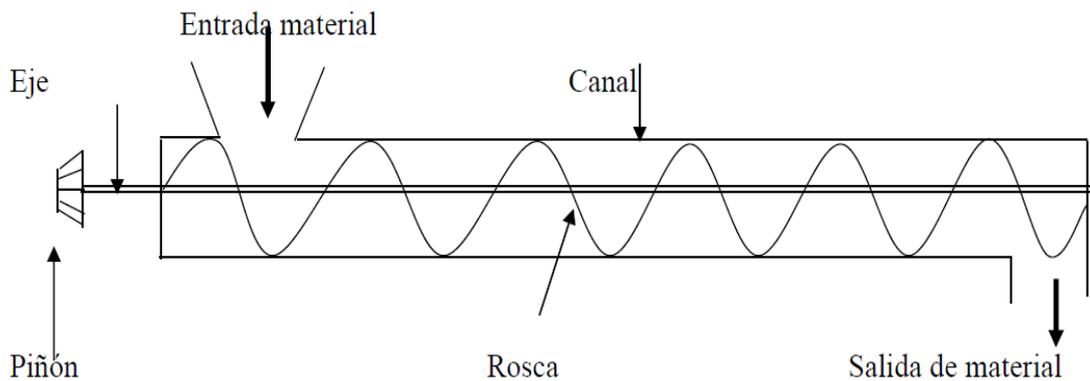
### **2.8.1 Diseño del tornillo sinfín**

Un dosificador de tornillo sinfín es el elemento mecánico que consta de un eje sobre el cual se desarrolla una espiral, la cual transporta materiales ya sea horizontalmente, verticalmente o en una pendiente. Dicho transportador puede alimentar, distribuir, recolectar o mezclar, además se pueden equipar para calentar o enfriar durante el proceso. (SCREW CONVEYOR, 2010)

El eje es accionado por un motor mediante un sistema de reducción de velocidad. Puede transportar diversos tipos de materiales; tanto abrasivos como no abrasivos. En el caso

del dosificador de biomasa cumple la función de transportar la biomasa desde una estación de almacenamiento hacia la cámara de combustión.

Como se muestra en la figura en la salida del material existe una presión de los gases de combustión que hace que dichos gases tiendan a desplazarse hacia la entrada del material razón por la cual en la tolva de almacenamiento se va a construir una cubierta para evitar la pérdida del gas pobre.



**Figura 25-3:** Partes principales del transportador

Fuente: (BIASCA, 2010)

### 2.8.2 Dimensionamiento del tornillo

El tornillo sinfín debe ser capaz de transportar cubos de madera de hasta 50 mm de lado, para realizar pruebas de funcionamiento en el gasificador tipo Downdraft del laboratorio de térmicas de la Facultad de Mecánica.

Para determinar las dimensiones del transportador se requieren las dimensiones máximas de los cubos a ser transportados, mediante la ecuación:

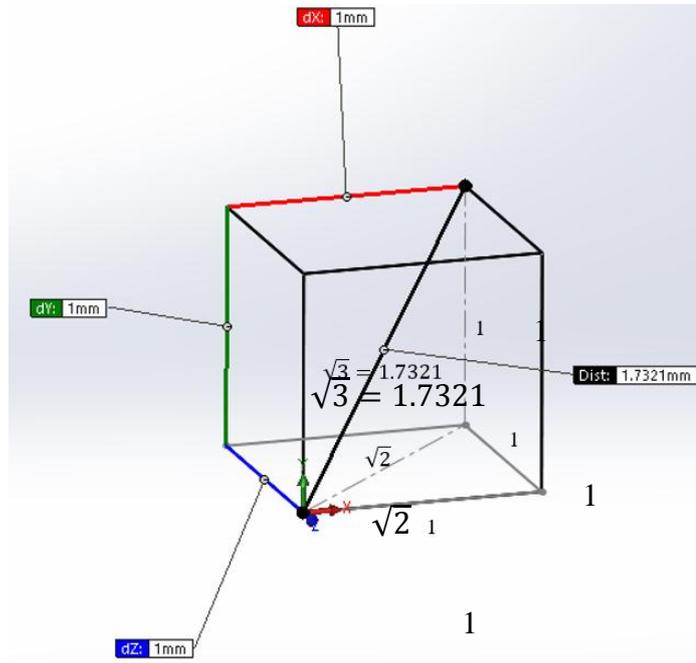
$$L_{max} = \sqrt{3}L \quad (3.1)$$

Donde:

$L_{max}$ : dimensión máxima del cubo

$L$ : lado del cubo

Esta ecuación se determina mediante la aplicación del teorema de pitágoras para hallar la dimensión máxima de un cubo de lado 1.



**Figura 26-3:** Dimensiones máximas de un cubo

Fuente: El Autor

De la figura anterior se puede concluir que la dimensión máxima de un cubo es raíz de 3 veces su lado, como se indica en la ecuación (3.1)

$$L_{max} = \sqrt{3} * (5cm) = 8.66 cm$$

Para el diseño del tornillo sinfín, para evitar un posible atascamiento se va a trabajar con un factor de seguridad de 1.15 en el sobredimensionamiento de los cubos de biomasa.

$$L_{max} = 1.15 * 8.7 = 10.005 cm$$

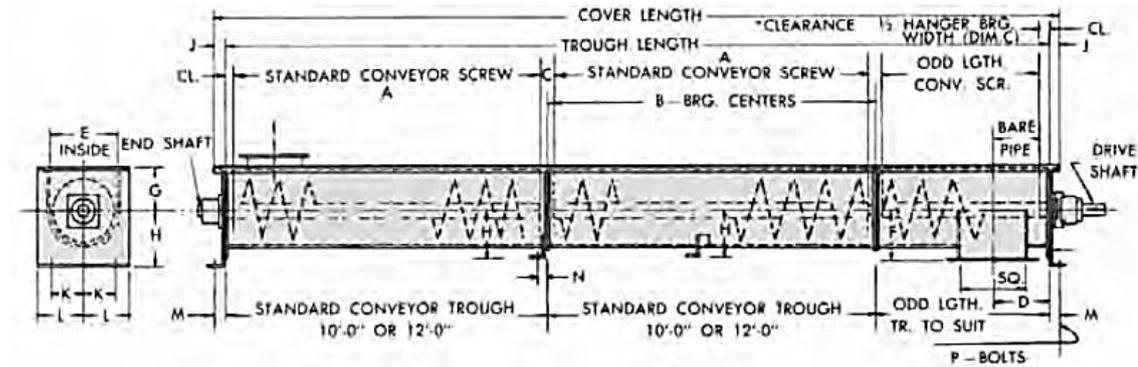
Por lo tanto las dimensiones máximas de las probetas que van a ingresar en el dosificador de biomasa no deberán superar los 10 cm.

Para las pruebas de funcionamiento no se deberán usar probetas de más de 10 cm de longitud máxima, la opción para el dimensionamiento del tornillo sinfín es determinar en

función del tamaño máximo de las partículas a ser transportadas según el estándar de diseño de transportadores CEMA.

Como se muestra en la figura 27-3 del catálogo de selección de transportadores helicoidales se procede a determinar el diámetro externo del tornillo sin fin y el diámetro del eje para obtener el espacio libre entre el eje y el extremo de las hélices.

iii.



Conveyor Diameter Inches	Shaft and Coupling Diameter	A	B	C	D	E	F	G	H	J
6	1 1/2	9'-10"	10'-0"	2	6	7	5	4 1/2	5 5/8	1 1/2
9	1 1/2	9'-10"	10'-0"	2	8	10	7 1/8	6 1/8	7 7/8	1 5/8
10	2	9'-10"	10'-0"	2	8	10	7 1/8	6 1/8	7 7/8	1 5/8
	1 1/2	9'-10"	10'-0"	2	9	11	7 1/8	6 3/8	8 7/8	1 3/4
12	2	9'-10"	10'-0"	2	9	11	7 1/8	6 3/8	8 7/8	1 3/4
	2	11'-10"	12'-0"	2	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2
14	2 7/16	11'-9"	12'-0"	3	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2
	3	11'-9"	12'-0"	3	10 1/2	13	8 7/8	7 3/4	9 5/8	2
16	2 7/16	11'-9"	12'-0"	3	11 1/2	15	10 1/8	9 1/4	10 7/8	2
	3	11'-9"	12'-0"	3	11 1/2	15	10 1/8	9 1/4	10 7/8	2
18	3	11'-9"	12'-0"	3	13 1/2	17	11 1/8	10 5/8	12	2 1/2
20	3 7/16	11'-8"	12'-0"	4	14 1/2	19	12 3/8	12 1/8	13 3/8	2 1/2
	3	11'-9"	12'-0"	3	15 1/2	21	13 3/8	13 1/2	15	2 1/2
24	3 7/16	11'-8"	12'-0"	4	15 1/2	21	13 3/8	13 1/2	15	2 1/2
	3 7/16	11'-8"	12'-0"	4	17 1/2	25	15 3/8	16 1/2	18 1/8	2 1/2

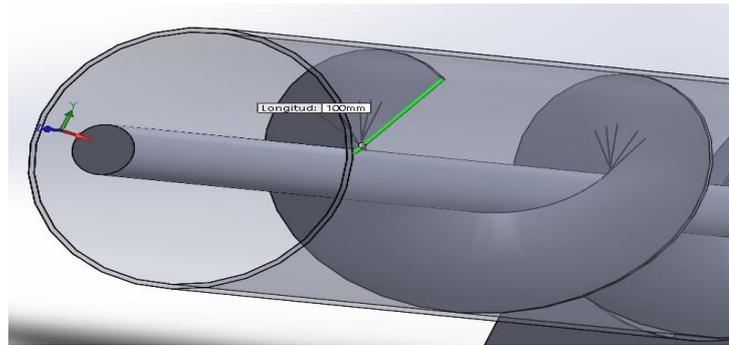
Figura 27-3: Dimensiones principales del transportador según Catalogo Screw Conveyor

Fuente: (CONVEYOR, 2010)

Las dimensiones seleccionadas corresponden a un diámetro externo del transportador de 10 pulgadas y un diámetro del eje de 2 pulgadas lo cual nos deja como espacio libre 8 pulgadas que son aproximadamente igual a 20.32 cm a cada lado del transportador.

Es importante comprobar si el espacio libre es mayor o igual a las dimensiones máximas de las probetas a ser dosificadas. Si la condición se cumple entonces se ha realizado un correcto dimensionamiento del dosificador de biomasa.

$$\frac{20.32}{2} = 10.16 \text{ cm} > L_{max} = 10.005 \text{ cm}$$



**Figura 28-3:** Espacio disponible entre el tubo del transportador y el eje del sinfín

Fuente El Autor

Como resultado del dimensionamiento del tornillo sinfín se obtienen los siguientes datos:

Diámetro externo: 250 mm = 10 in

Diámetro del eje: 50 mm = 2 in

Paso: 250 mm = 10 in, por razones de construcción de las hélices deben tener un paso de 250 mm, ya que mientras menor sea el diámetro se requiere de un mayor presupuesto para su construcción.

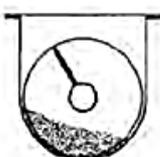
Longitud del eje: 150 cm, la longitud del eje se obtiene en base al espacio disponible en la estructura. No puede ser menor a 100 cm debido a que durante el montaje se requiere que el tubo exterior del dosificador ingrese en el gasificador, además la longitud del dosificador no puede ser mayor a 150 cm debido al espacio disponible.

Longitud de hélices: 100 cm, la longitud de las hélices es la mitad del espacio libre entre las diez pulgadas del tubo exterior y las dos pulgadas de diámetro del eje de transmisión.

Las dimensiones anteriores permiten la construcción del sinfín con un espesor de 3 mm, debido a la rigidez de la soldabilidad requeridas. La longitud del tornillo se asume en base al espacio disponible en el gasificador DOWNDRAFT. Como se muestra en la figura 28-

3 el espacio disponible es de 1 500 mm dimensión que será la longitud del eje, mientras que las hélices tienen una longitud total de 1000 mm, por el espacio que se requiere para el acople con el motor, chumaceras, entre otros.

Para asegurar un flujo másico de 25.71 kilogramos por cada hora, se va a trabajar con la tabla de capacidad del dosificador con un porcentaje del 15 por ciento de material con respecto a la capacidad del tubo exterior del dosificador, como se indica en la figura:

Material Class Code	Degree of Trough Loading	Screw Dia. Inch.	Maximum RPM *	Capacity, Cubic Feet Per Hour		
				At Max RPM	At One RPM	
A-17 D-17	15% 	6	60	45	0.75	
A-27 D-27		9	55	150	2.72	
A-37 D-37		12	50	325	6.46	
A-47 D-47		14	50	520	10.4	
B-17 E-17		16		45	700	15.6
B-27 E-27				45	1010	22.5
B-37 E-37				40	1250	31.2
B-47 E-47				40	2180	54.6
C-17	18					
C-27	20					
C-37	24					
C-47						

**Figura 29-3** Porcentaje de trabajo tornillo sin fin

Fuente: (SCREW CONVEYOR, 2010)

Es necesario obtener la capacidad a una RPM con el diámetro del tubo de 10 pulgadas para lo cual se trabaja mediante una interpolación, obteniéndose una capacidad de 3,96 pies cúbicos por cada hora.

Mediante la densidad de la madera se puede obtener un valor tentativo de flujo másico, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{f_m}{f_v} \quad (3.2)$$

Donde:

$$\rho: \text{densidad de la madera} : 870 \frac{kg}{m^3}$$

$f_m$ : flujo másico debe acercarse a los  $25.71 \frac{kg}{h}$

$f_v$ : flujo volumétrico =  $3.96 \frac{ft^3}{h}$

Realizando el despeje anterior se obtiene que a una velocidad angular de un RPM se puede obtener un flujo másico de 98 kilogramos por cada hora, pero al no existir la madera en forma de cubos en la clasificación del material para el diseño de dosificadores en el manual de la norma CEMA. Se debe proceder a realizar una medición experimental en la cual se requiere de un mecanismo de control de capacidad del dosificador y además de un variador de velocidad del eje de transmisión.

Pruebas de capacidad del dosificador:

$\rho$ : densidad de la madera :  $870 \frac{kg}{m^3}$

$f_m$ : flujo másico igual a  $25.71 \frac{kg}{h}$

RPM: 3 revoluciones por cada minuto

Apertura de compuerta:  $30^\circ$  para obtener la capacidad requerida

del dosificador.

## 2.9 Diseño de la tolva

Las tolvas son elementos que reciben, almacenan y descargan materiales. En el presente trabajo, el material a ser transportado es biomasa forestal, los cuales son cubos de madera y poseen características abrasivas y corrosivas muy bajas por lo que las consideramos despreciables. Los esfuerzos y el desgaste a los cuales va a estar sometida la tolva de alimentación son muy bajos. Adicionalmente la tolva debe proporcionar suficiente rigidez.

### 2.9.1 Selección del material

Un acero especial antidesgaste no se encuentra disponible para espesores bajos que es un requerimiento de la tolva. Por lo dicho este material queda descartado.

El costo del acero inoxidable es mayor que del acero común, sin embargo, el acero común no posee protección contra la corrosión ni desgaste, causados por el ambiente y por el material a ser transportado.

Y una pintura anticorrosiva no puede proteger la parte interna de la tolva, en cambio el acero inoxidable da una protección permanente.

Por las razones mencionadas anteriormente, se selecciona como material para construir la tolva un acero inoxidable.

PROPIEDAD QUÍMICA Y MECÁNICA - ASTM A240																		
MATERIAL	Composición Química													Propiedad Mecánica				
	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPAKSI	LF MPAKSI	AL %	EX %	DUR HRB
ASTM A 240 / A240M 96b TP. 302	MAX.	0.15	19.0	0.060	0.030	1.00		5.00	19.00				0.25					
	MIN.	7.5						4.00	17.00					820/90	280/38	40		
ASTM A240 / A240M 96b TP. 304	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPA	LF MPA	AL %	EX %	DUR HRB
	MAX.	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75		10.5	20.0				0.10					92
ASTM A240 / A240M 96b TP. 304L	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPAKSI	LF MPAKSI	AL %	EX %	DUR HRB
	MAX.	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75		12.0	20.0				0.10					92
ASTM A240 / A240M 96b TP. 316	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPAKSI	LF MPAKSI	AL %	EX %	DUR HRB
	MAX.	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75		14.0	18.0	3.00			0.10					95
ASTM A240 / A240M 96b TP. 316L	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPAKSI	LF MPAKSI	AL %	EX %	DUR HRB
	MAX.	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75		14.0	18.0	3.00			0.10					95
ASTM A240 / A240M 96b TP. 430	TOL	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	N%	A%	LR MPAKSI	LF MPAKSI	AL %	EX %	DUR HRB
	MAX.	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00		0.75	18.0									89
	MIN.							18.0						450/65	205/30	22		

Figura 30-3 Propiedades de lámina de acero inoxidable

Fuente: (BRAUSA MATERIALES)

### 2.9.2 Requerimientos funcionales de la tolva

Los requerimientos funcionales del gasificador de biomasa establecen que se debe recibir 25 kilogramos cada hora, para un correcto funcionamiento.

El gasificador de biomasa puede tener un funcionamiento generando gas pobre para la generación de calor o energía, mediante datos experimentales ya está determinado que el

abastecimiento de materia prima se lo debería realizar a diario para evitar que la humedad del ambiente afecte a la biomasa.

**Tabla 16-3** Abastecimiento de materia prima

Tiempo de funcionamiento del gasificador (h)	Masa (kg)
1.5	30
<b>Consumo (kg/h)</b>	25.71

Fuente: (TIERRA, 2011)

Como se indica en la tabla 18.3 se requiere de 25.71 kilogramos por hora de biomasa forestal para un funcionamiento continuo del gasificador, lo cual significan 9000 kg cada mes, con un régimen de 12 horas diarias de funcionamiento.

Por lo tanto:

$$V_{tolva} = \frac{m_m}{d_m} \quad (3.3)$$

Donde:

$m_m$ : masa de madera necesaria por cada hora de funcionamiento

$d_m$ : densidad de la madera (Huayacán)  $\frac{850\text{kg}}{\text{m}^3}$

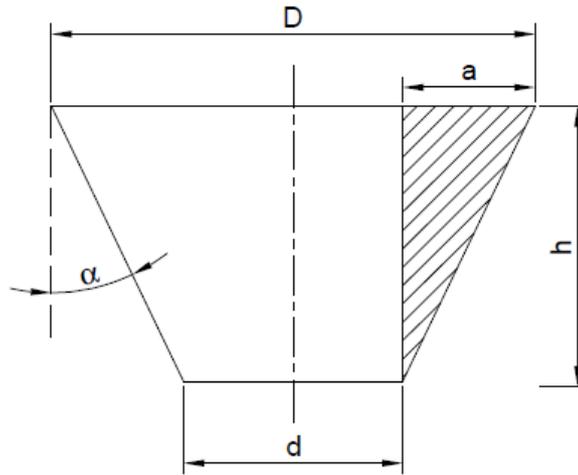
$$V_{tolva} = \frac{25,71 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * t_f$$

Donde:

$t_f$ : tiempo en horas de funcionamiento

$$V_{tolva} = \frac{25,71 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * 6h$$

$$V_{tolva} = 0,181 \text{ m}^3$$



**Figura 31-3** Dimensiones básicas de la tolva

Fuente: (HERRERA, 2007)

Para determinar todos los parámetros es necesario encontrar el volumen geométrico de la tolva:

Se procede a diseñar la parte inferior de la tolva con la forma de un cono:

Para proceder a realizar el cálculo de las dimensiones de la tolva se va a determinar el diámetro menor de la tolva como se indica en la siguiente ecuación:

$$d = 2 * L_{max} \quad (3.4)$$

Donde:

$d$ : diámetro menor de la tolva

$L_{max}$ : dimensión máxima de la briqueta

$$d = 2 * 10.005 \text{ cm} = 20.01 \text{ cm}$$

$$V_{tolva} = \frac{\pi h}{3} \left( \left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{Dd}{4}\right) \right) \quad (3.5)$$

Donde:

$V_{tolva}$  Volumen de la tolva  $0,181 \text{ m}^3$

$D$  Diámetro mayor de la tolva [m]

$d$       *Diámetro menor de la tolva [m]*

$h$       *Altura de la tolva [m]*

El diámetro menor de la tolva es dos veces la dimensión máxima (10 cm) de las briquetas que puede transportar el dosificador, resultando ser 20 cm. Para evitar cualquier obstaculización se va a sobredimensionar al diámetro menor con un factor de seguridad de 1.1. Como resultado obtenemos un diámetro menor de 22 cm.

Relacionando geoméricamente las dimensiones de la tolva y el ángulo de inclinación ( $\alpha=25^\circ$ ) se tiene:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{a}{h} = \frac{D - d}{2h} \quad (3.6)$$

$$h = \frac{D - d}{2\operatorname{tg}(\alpha)}$$

$$0,182 = 3.1416 * \frac{h}{3} \left( \frac{D^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{Dd}{4} \right)$$

Resolviendo se tiene que:

$$D = 0,74 \text{ m}$$

$$h = 0,92 \text{ m}$$

$$d = 0,22 \text{ m}$$

$$m_{total \ tolva} = 25.71 * 6 \text{ horas de funcionamiento} = 154.26 \text{ kg}$$

Con estas dimensiones se cumplen los requerimientos de disponibilidad de biomasa forestal para el proceso de gasificación y el diámetro menor de la tolva asegura el paso de los cubos de madera hacia el transportador de tornillo sinfín.

### 2.9.3 *Espesor de plancha de la tolva*

Los esfuerzos a los cuales está sometida la tolva son considerablemente bajos pero por razones de seguridad se deben realizar los respectivos cálculos para determinar el espesor de tal elemento.

Para determinar el espesor de las placas se considera la tolva como un recipiente de paredes delgadas para el cual se tiene que la presión interna máxima que va a soportar la tolva debido a la biomasa forestal es:

$$p = \frac{mgh}{V_{tolva}} \quad (3.7)$$

Donde:

$p$  Presión Interna

$m$  Masa de la biomasa con la tolva llena

$g$  Gravedad

$h$  Altura de la tolva

$V_{tolva}$  Volumen de la tolva

Con lo cual se obtiene una presión de:

$$p = 615,27 \frac{N}{m^2}$$

A la cual debe adicionarse la presión interna del gasificador:

$$p = 615,27 \frac{N}{m^2} + 101325 \frac{N}{m^2} = 101940,27 \frac{N}{m^2}$$

Los esfuerzos a los que se encuentra sometida la tolva se asemejan a los esfuerzos a los que están sujetos los cilindros de paredes delgadas por lo cual se presentan dichos esfuerzos en la ecuación:

$$\sigma_t = \frac{pd_m}{2t}, \sigma_l = \frac{pd_m}{4t} \quad (3.8)$$

Donde:

$\sigma_t$       esfuerzo tangencial

$\sigma_l$       esfuerzo longitudinal

$d_m$       diámetro medio

$p$         presión interna

$t$         espesor de placa

El diámetro medio se lo calcula a partir del diámetro mayor y del diámetro menor de la tolva.

$$d_m = 0.5325 \text{ m}$$

Al reemplazar los valores de presión interna, así como el diámetro promedio interior en la ecuación, se tiene el esfuerzo tangencial.

$$\sigma_t = \frac{27\,141.597}{t}$$

De la misma forma se puede determinar el esfuerzo longitudinal al que se encuentra sometida la tolva.

$$\sigma_l = \frac{13\,570.798 \text{ N}}{t \text{ m}^2}$$

#### **2.9.4    *Análisis de la tolva según la teoría del esfuerzo cortante máximo***

Al aplicar la teoría del esfuerzo cortante máximo se puede determinar el espesor  $t$  de la placa, considerando que:

$$\sigma_t = \sigma_1 \quad (3.9)$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 \quad (3.10)$$

Según la teoría del esfuerzo cortante máximo se tiene:

$$\sigma_e = \sigma_1 + \sigma_2 \leq S_y \quad (3.11)$$

$$\frac{27\,141.597}{t} + \frac{13\,570.798}{t} = 248 \times 10^6$$

$$t = 0,0016 \text{ m}$$

Donde:

$\sigma_1, \sigma_2$     Esfuerzos principales

$\sigma_e$         Esfuerzo equivalente

$S_y$          Esfuerzo de fluencia del acero

Debido a que la tolva está sometida a bajos esfuerzos el espesor es muy bajo, pero por efectos de rigidez de la tolva, por el efecto abrasivo del material y por las condiciones climáticas se escoge una placa de acero inoxidable de 1 mm de espesor.

### **2.9.5    Dimensionamiento de cubierta de la tolva**

La cubierta de la tolva tiene los siguientes requerimientos funcionales:

- Evitar la fuga de gas pobre hacia la atmosfera
- Evitar el paso de agua hacia el gasificador durante épocas de invierno
- Evitar accidentes durante la operación del gasificador.

Para determinar el espesor de plancha de la cubierta de la tolva se trabaja con la presión del gasificador:

De las pruebas de funcionamiento del gasificador se obtiene una presión de:

$$p = 1 \text{ atmósfera} = 101325 \frac{N}{m^2}$$

Los esfuerzos a los que se encuentra sometida la tolva se asemejan a los esfuerzos a los que están sujetos los cilindros de paredes delgadas por lo cual se presentan dichos esfuerzos en la ecuación:

$$\sigma_t = \frac{pd_m}{2t}, \sigma_l = \frac{pd_m}{4t} \quad (3.12)$$

Donde:

$\sigma_t$       esfuerzo tangencial

$\sigma_l$       esfuerzo longitudinal

$d_m$       diámetro medio

$p$         presión interna

$t$         espesor de placa

El diámetro de curvatura que se asume es de 2.5 metros para la construcción de la cubierta de la tolva:

$$d_m = 2.5 \text{ m}$$

Al reemplazar los valores de presión interna, así como el diámetro promedio interior en la ecuación, se tiene el esfuerzo tangencial.

$$\sigma_t = \frac{253\,312.5}{t}$$

De la misma forma se puede determinar el esfuerzo longitudinal al que se encuentra sometida la tolva.

$$\sigma_l = \frac{126\,656.25 \text{ N}}{t \text{ m}^2} \quad (3.13)$$

Al aplicar la teoría del esfuerzo cortante máximo se puede determinar el espesor  $t$  de la placa, considerando que:

$$\sigma_t = \sigma_1$$

$$\sigma_1 = \sigma_2$$

Según la teoría del esfuerzo cortante máximo se tiene:

$$\sigma_e = \sigma_1 + \sigma_2 \leq S_y \quad (3.14)$$

$$\frac{253\,312.5}{t} + \frac{126\,656.25}{t} = 248 \times 10^6 \quad (3.15)$$

$$t = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

Donde:

$\sigma_1, \sigma_2$     Esfuerzos principales

$\sigma_e$         Esfuerzo equivalente

$S_y$          Esfuerzo de fluencia del acero

Debido a los efectos de rigidez de la tolva, por el efecto abrasivo del material y por las condiciones climáticas se escoge una placa de acero inoxidable de 1 mm de espesor.

Para la selección de dichos seguros es necesario conocer la carga axial existente en la tolva, la cual va a ser soportada por los seguros evitando así la apertura de la tapa de la tolva debido a la presión.

Para determinar la carga de los seguros de la tolva es necesario conocer la fuerza que debe soportar la tapa de la tolva, a la presión de funcionamiento del gasificador:

Presión de funcionamiento: 1 Atmósfera = 101 325 Pa = 101 325 N m

Para obtener la fuerza a la cual estará sometida la tapa de la tolva se trabaja con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.16)$$

Donde:

$P = 101\,325\text{ Pa}$  se va a trabajar con el 40 %, debido a la configuración del gasificador

$F = a$  ser determinada

$A =$  area de la tolva con el  $D = 0.74\text{ m}$

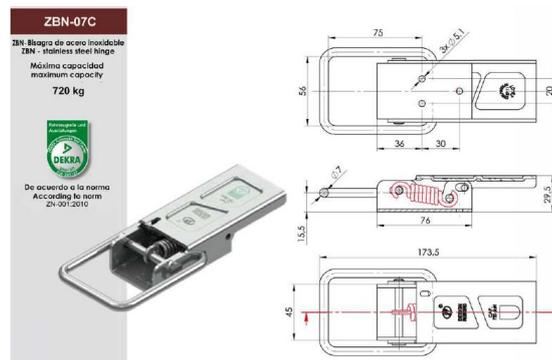
$A = 0.384\text{ m}^2$  en la tapa de la tolva

Por lo tanto la fuerza axial a la cual se encuentra sometida la tapa es de:

$$F = 0.4(101325\text{ Pa})(0.384\text{ m}^2) = 1591.6\text{ kg}$$

Con 3 seguros se requiere seleccionar un seguro que pueda soportar 530.53 kg de carga axial.

Para sujetar la cubierta en la tolva se utilizaron se utilizaron seguros tipo palanca como se indica en la figura:



**Figura 32-3:** Dimensiones básicas de la tolva

Fuente: (ALVAREZ, 2016)

## 2.10 Diseño del tubo exterior del transportador de tornillo sinfín

El tubo exterior del tornillo sinfín fue dimensionado anteriormente donde se determinó que el diámetro exterior del tubo exterior del tornillo transportador es de 10 pulgadas. Para determinar su espesor se requiere determinar las cargas a las cuales se encuentra sometido.

La carga que va a soportar el tubo del dosificador de biomasa es de los 154.26 kg, calculados con anterioridad.

Para hallar el peso de la biomasa almacenada en la biomasa se trabaja con la siguiente ecuación:

$$w = m_{biomasa} g = 154.26 (9.8) = 1512 N \quad (3.17)$$

Donde:

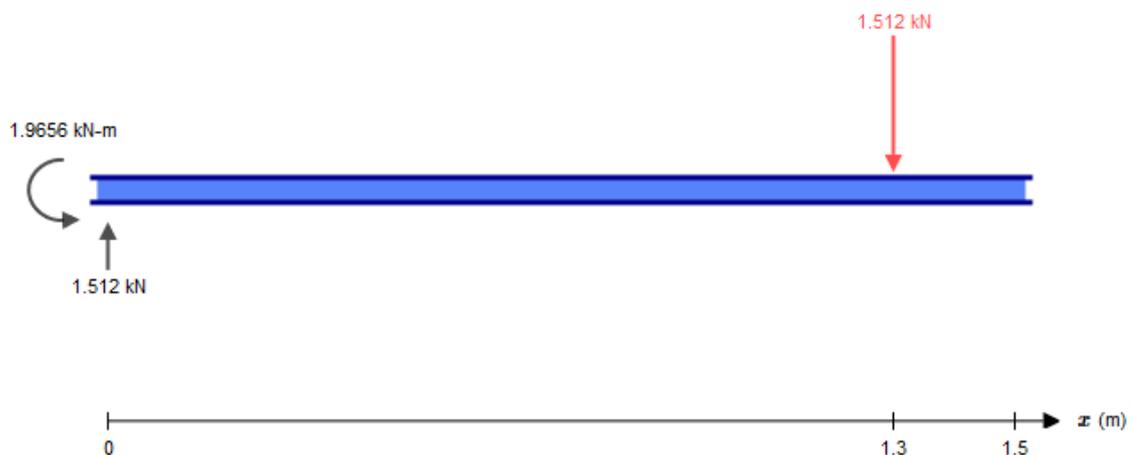
$$w = \text{peso total de biomasa almacenada}$$

$$g = \text{gravedad}$$

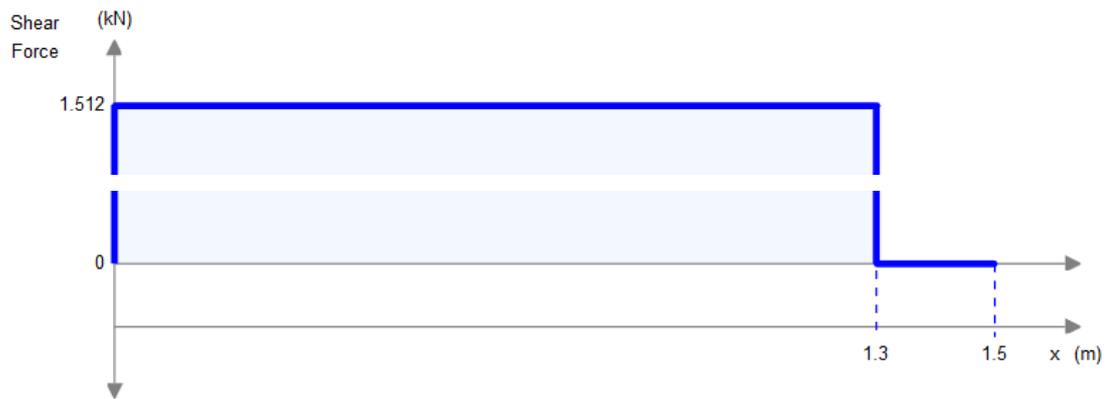
La distancia entre apoyos es de 1.5 m, mientras que la distancia desde el apoyo al punto de aplicación de la carga es de 0.2 m, para ello se asume que la carga de la biomasa almacenada se aplica desde el centro de la tolva.

A continuación se indican los diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector para el tubo externo del dosificador de biomasa.

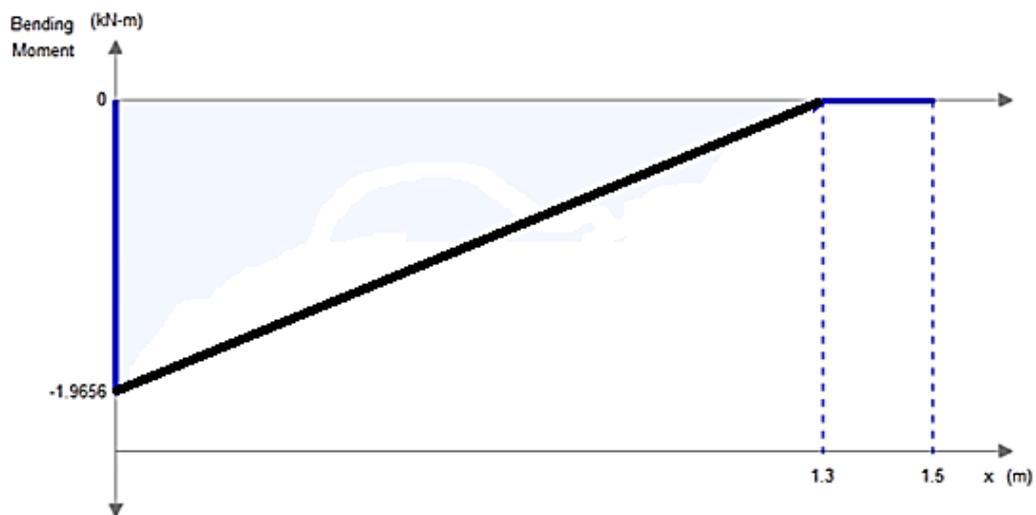
**Figura 33-3:** a) Diagrama de cargas del tubo exterior del dosificador de biomasa.



b) Diagrama de fuerza cortante



c) Diagrama de momento flector



Fuente: (SKYCIV,2015)

Para determinar si el tubo exterior del dosificador resiste la carga de la madera ubicada en la tolva debemos asumir el material y el espesor en función de la facilidad de obtener la plancha en el mercado para su posterior embarolado.

Un material con excelentes propiedades mecánicas para ser embarolado es una plancha de acero A36 ya que cuenta con un 25 % de porcentaje de alargamiento y con una resistencia mecánica muy aceptable.



# LÁMINAS Y PLANCHAS A 36

A 36 Láminas y planchas	COMPOSICIÓN QUÍMICA								PROPIEDADES MECÁNICAS					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Co	Estado de suministro	Resistencia a la tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell
	0.29	0.15	0.40	0.85	1.2	P. 0.04	P. 0.05		0.2	Laminado en caliente	36/51	23/25	20/23	
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES														
SERVICIO DE OXICORTE Y SUMINISTRO DE PIEZAS CON PANTÓGRAFO ELECTRÓNICO. Usos diferentes a la fabricación de elementos de armazón y estructurales.														

**Figura 34-3:** Propiedades mecánicas de acero A36

Fuente: (REYDIN,2016)

El espesor que se asume para los posteriores cálculos es de 3 mm, dicho espesor va a usarse para determinar el esfuerzo al cual está sometido el tubo del transportador. Y dicho espesor debe ser menor al esfuerzo admisible para el Acero A36.

Para realizar la verificación del tubo exterior del dosificador de biomasa se requiere utilizar la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M_f y}{I_x} \quad (3.18)$$

Donde:

$\sigma$  : Esfuerzo al cual se encuentra sometido el tubo exterior

$M_f$  : momento flector máximo obtenido del diagrama de momento flector

$I_x$  : inercia de la sección transversal de un anillo circular.

$y$  = distancia desde el eje neutro hasta el radio exterior

En necesario realizar el cálculo del momento de inercia como se indica a continuación:

$$I_x = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) \quad (3.19)$$

Donde:

$R$ : radio exterior del tubo exterior : 128 mm.

$r$  : radio interior del tubo exterior: 126 mm, debido a que el diametro es de 10 pulgadas o 250 mm

Por lo tanto:

$$I_x = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) = \frac{\pi}{4} ((0.128 \text{ m})^4 - (0.126 \text{ m})^4) = 1.287 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$M_f = 1965.5 \text{ N m}$$

$$\sigma = \frac{M_f y}{I_x} = \frac{1965.5 \text{ N m} (0.128 \text{ m})}{1.90811 * 10^{-5} \text{ m}^4} = 19.546 \text{ MPa}$$

El esfuerzo anterior debe ser comparado con el esfuerzo admisible del acero A36.

Propiedad	Valor
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	7.85
Resistencia a la tracción, MPa	400 - 552
Límite de Fluencia, MPa	250
Módulo de Young, MPa	200 000
Modulo de Cortante, MPa	79 300
Coefficiente de Poisson	0.26
Elongación, %	18
Dureza Rockwell B	67 - 83
Dureza Brinell	119 - 159

**Figura 35-3:** Propiedades mecánicas ASTM A36

Fuente: (Standars Worldwide, 2011)

Como se indica en la figura el límite de fluencia del acero A36 es:

$$\sigma_{adm} = 250 \text{ MPa}$$

Por lo tanto con el esfuerzo conocido y el esfuerzo admisible es posible determinar el factor de seguridad:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{250 \text{ MPa}}{19.54} = 12.79$$

El factor de seguridad es muy alto con respecto al valor permisible ( $n > 1$ ), pero es necesario determinar primero la resistencia de la soldadura de brida de acoplamiento del

dosificador de biomasa con el gasificador. El cálculo de la brida se lo realiza en el siguiente apartado.

A continuación se va a realizar el análisis de deformación del tubo exterior del dosificador de biomasa con la ecuación que se indica a continuación:

$$U_{max} = -\frac{PL}{3EI}$$

Donde:

$P =$  carga puntual ubicada en el tubo exterior: 1512 N

$L =$  longitud del tubo exterior del dosificador

$E =$  módulo de Young del acero : 200 GPa

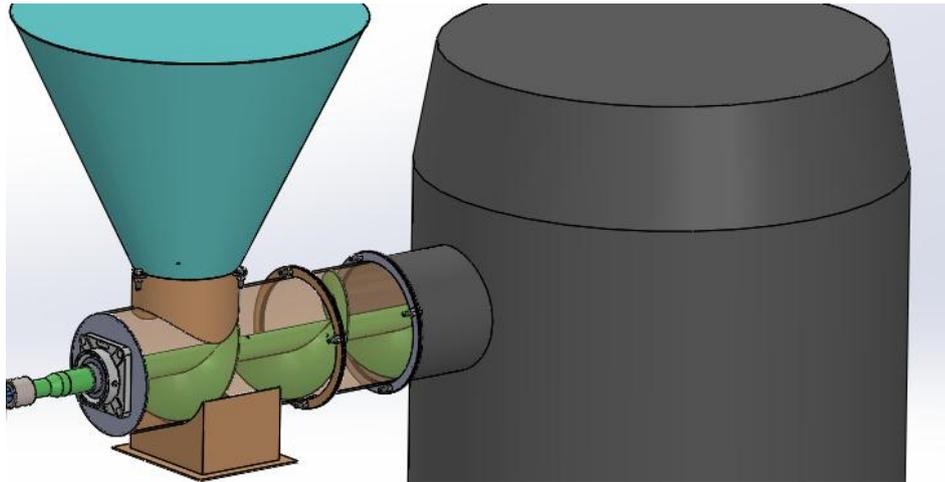
$I =$  inercia del tubo exterior :  $1.287 \times 10^{-5} m^4$

$$U_{max} = -\frac{PL}{3EI} = -\frac{1512N(1.3m)^3}{3(200GPa)(1.287 \times 10^{-5} m^4)} = 0.43 \text{ mm}$$

El resultado anterior se halla dentro del rango de deformaciones permisibles ( $\frac{1}{1000} - \frac{1}{3000}$ )L, es decir que existe la suficiente rigidez ya que 0.43 mm es el límite de deformación para un elemento rígido.

### **2.10.1 Diseño y selección de brida de acoplamiento al gasificador.**

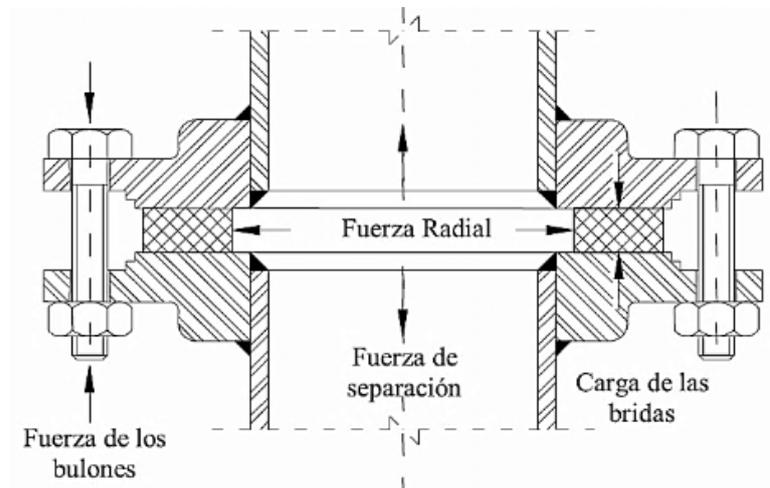
La brida de acoplamiento cumple con el principal objetivo de facilitar el montaje y desmontaje del gasificador de biomasa, como se indica en la figura, de tal forma que sea posible el funcionamiento del gasificador de biomasa sin un dosificador.



**Figura 36-3:** Acople dosificador con gasificador

Fuente: El Autor

Para determinar las dimensiones de la brida de acoplamiento se trabaja con las cargas del anterior apartado ya que la brida actúa como el soporte en voladizo, usado para determinar la resistencia del tubo exterior del dosificador.



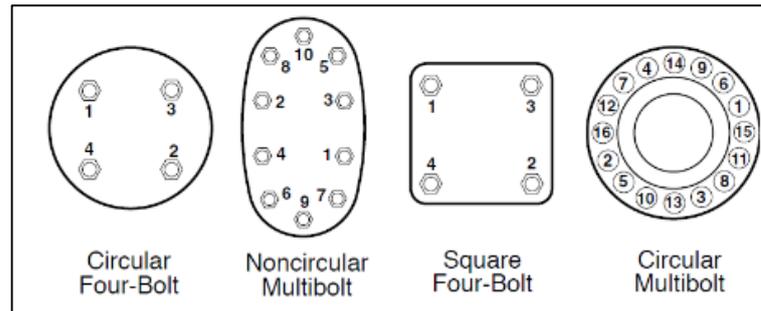
**Figura 37-3:** Principales fuerzas actuantes en una unión brida

Fuente: (Veiga, 2011)

Como se indica en la figura anterior existen dos fuerzas principales que actúan en una junta tipo brida. A continuación, se indican las cargas conocidas:

- Presión de funcionamiento del gasificador: 1 Atmósfera = 14.7 psi
- La carga de separación se la determina con el momento concentrado ubicado en el soporte fijo.

- El número de pernos de la junta tipo brida es de 4 como se indica en el patrón de pernos cruzados.



**Figura 38-3:** Patrón de apriete cruzado de los tornillos

Fuente: (GARLOCK, 2011)

$$M = 1965.6 \text{ N m}$$

Debido a la existencia de un momento concentrado en el apoyo fijo. Se puede obtener la carga a la cual está sometida la brida, como en el caso del tubo exterior del gasificador de biomasa es muy importante asumir las dimensiones de la brida, pero como se indica en la tabla de datos de juntas tipo anillo, nos indica las dimensiones recomendadas para un diámetro nominal de 10 pulgadas.

Para determinar la carga concentrada en el perno de sugestión, tomando en cuenta que un perno de sugestión actúa como apoyo. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$p = \frac{M_f}{r} \tag{3.20}$$

Donde:

*p*: carga puntual que soporta el anillo de la brida

*n*: número de pernos de la brida

$$M = 1965.6 \text{ N m}$$

*r*: radio de curvatura de la brida: promedio del diámetro interno y externo

$$p = \frac{M_f}{(n + 2)^2 r} = \frac{1965.6 \text{ Nm}}{(36)0.15319\text{m}} = 356.41 \text{ N}$$

Tabla de Datos Para Juntas Tipo Anillo (T/A) Según Norma ANSI B16.5-1988						
Diam Nominal [IN]	A 150 Lb/IN <sup>2</sup>			A 300 Lb/IN <sup>2</sup>		
	Ø Interno [IN]	Ø Externo [IN]	Suaje	Ø Interno [IN]	Ø Externo [IN]	Suaje
1/2	27/32	1 7/8	2914	27/32	2 1/8	2934
3/4	1 1/16	2 1/4	2915	1 1/16	2 5/8	2935
1	1 5/16	2 5/8	2916	1 5/16	2 7/8	2936
1 1/4	1 21/32	3	2917	1 21/32	3 1/4	2937
1 1/2	1 29/32	3 3/8	2918	1 29/32	3 3/4	2938
2	2 3/8	4 1/8	2919	2 3/8	4 3/8	2939
2 1/2	2 7/8	4 7/8	2920	2 7/8	5 1/8	2940
3	3 1/2	5 3/8	2921	3 1/2	5 7/8	2941
3 1/2	4	6 3/8	2922	4	6 1/2	2942
4	4 1/2	6 7/8	2923	4 1/2	7 1/8	2943
5	5 9/16	7 3/4	2924	5 9/16	8 1/2	2944
6	6 5/8	8 3/4	2473	6 5/8	9 7/8	
7	7 5/8	10				
8	8 5/8	11	2925	8 5/8	12 1/8	2943
10	10 3/4	13 3/8	2926	10 3/4	14 1/4	2944

**Figura 39-3:** Datos para juntas tipo anillo y cara completa

Fuente: (ANSI B16.5, 2010)

Luego de determinar la carga del perno con la solicitud de carga más elevada se va a realizar el cálculo para determinar el espesor de la brida, como un elemento sometido a flexión pura.

Para determinar los diagramas de fuerza cortante y momento flector es importante asumir que el anillo de la brida se comporta como un elemento sometido a flexión con los siguientes datos:

La carga a la cual se encuentra sometida la brida se puede determinar con el peso de la madera asumiendo que en el peor de los casos la tolva se encuentra llena y la brida se comporta como un apoyo fijo en voladizo.

$$\text{perímetro: } \pi (0.15319 \text{ m}) = 0.481 \text{ m}$$

El momento máximo se lo puede determinar con la siguiente ecuación:

$$M = p \frac{\text{perímetro}}{2} \quad (3.21)$$

Donde:

*M*: momento máximo en el anillo de la brida

$p$ : carga puntual aplicada en el perno de sujeción

perímetro: distancia entre apoyos

$$M = p \frac{\text{perímetro}}{2} = 356.41 * \frac{0.481}{2} \text{ N m} = 85.71 \text{ Nm}$$

$$M_f = 85.71 \text{ Nm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 \quad (3.22)$$

La base es la diferencia entre diámetro interno y externo del anillo, mientras que la altura es el espesor, el cual se puede asumir y ser igual a 3 mm para facilitar la soldadura de a brida con el tubo exterior.

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (0.033\text{m})(0.003\text{m})^3 = 7.425 * 10^{-11} \text{m}^4$$

$y$ : es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra externa de la brida =  $\frac{3}{2} \text{mm}$

$$\sigma = \frac{M_f y}{I_x} = \frac{85.71 \text{ Nm} (1.5 * 10^{-3} \text{m})}{7.425 * 10^{-11} \text{m}^4} = 173.15 \text{ MPa}$$

En el apartado anterior se determinó un elevado factor de seguridad para el diseño del tubo exterior, pero para el diseño de la brida se tiene:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{250 \text{ Mpa}}{173.15 \text{ MPa}} = 1.44$$

Es importante determinar el factor de seguridad en la junta tipo brida para determinar si existe un sobredimensionamiento en el diseño.

Para la selección de los pernos primero se conoce que desde el diseño de la brida se seleccionó la configuración de 4 pernos simétricamente distribuidos.

Para la selección de pernos se toma en cuenta la presión de trabajo:

$$P = atm = 14.7 \text{ psi}$$

Para la selección de pernos se requiere conocer la presión de trabajo de la brida, así como la configuración para el número de pernos, como se indica en la figura:

Tabla de bridas y espárragos ASME B16.5 y bridas BS 1										
Nom Bore	Ring No	Pressure Class 150lb				Pressure Class 300lb				
		Flange OD	No of Bolts	Bolt Dia	Bolt PCD	Ring No	Flange OD	No of Bolts	Bolt Dia	Bolt PCD
1/2"		3.1/2"	4	1/2"	2.3/8"	R11	3.3/4"	4	1/2"	2.5/8"
3/4"		3.7/8"	4	1/2"	2.3/4"	R13	4.5/8"	4	5/8"	3.1/4"
1"	R15	4.1/4"	4	1/2"	3.1/8"	R16	4.7/8"	4	5/8"	3.1/2"
1.1/4"	R17	4.5/8"	4	1/2"	3.1/2"	R18	5.1/4"	4	5/8"	3.7/8"

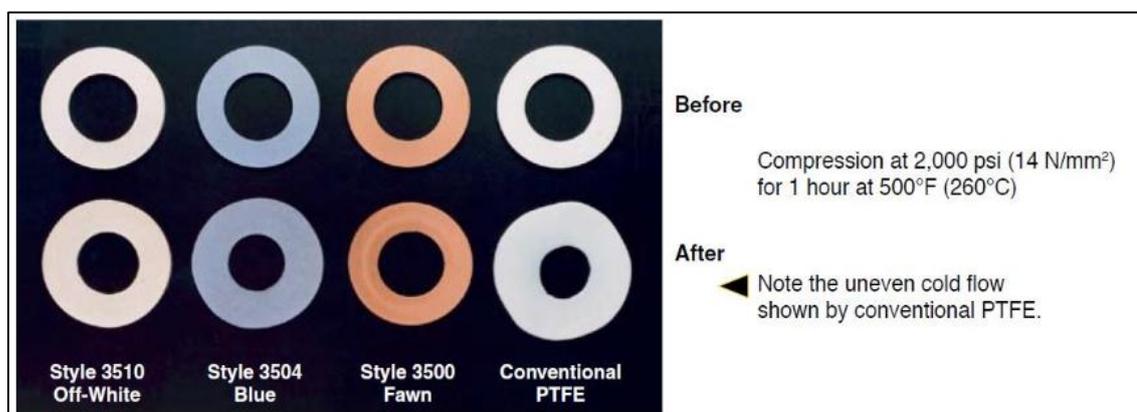
**Figura 40-3:** Bridas y espárragos ASME

Fuente: (ASME, 2013)

No existen datos para una presión de trabajo de 14.7 psi, por lo cual se va a trabajar con la presión de 150 psi. La figura indica que para una configuración de 4 pernos y para una presión inferior a 150 psi se debe seleccionar un perno de ½ pulgada.

Para la selección de los empaques se debe tomar en cuenta la deformación luego de ser sometidos a presión, es importante que exista deformación para que se puedan corregir las imperfecciones de las superficies de las bridas.

Por lo tanto, se va a trabajar con poli tetrafluoretileno convencional (PTFE) con las mismas dimensiones de las bridas, es decir 10 pulgadas de diámetro interior y 13 pulgadas de diámetro exterior como se indica en las tablas de datos para juntas.



**Figura 41-3:** Deformación en juntas tipo anillo

Fuente: (GARLOCK, 2009)

## 2.11 Diseño del eje central del dosificador de biomasa

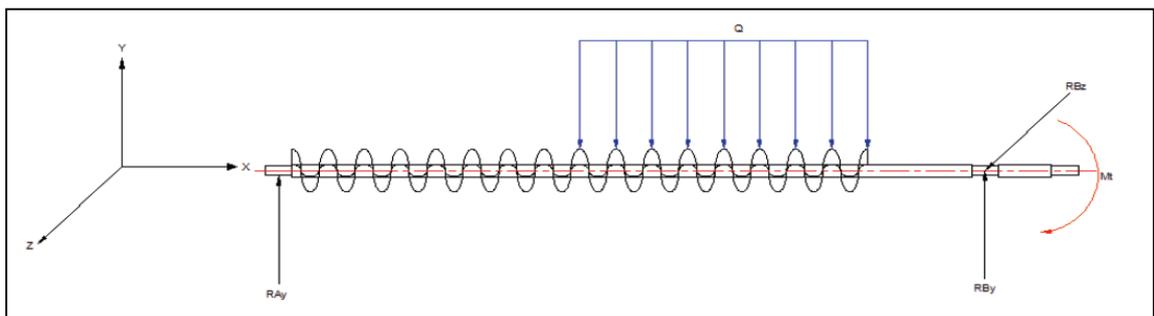
El eje central es un elemento cilíndrico de sección circular, que puede estar fijo o girando, sobre el que se montan engranajes, poleas, volantes, ruedas de cadena, manivelas o manubrios, así como otros elementos mecánicos de transmisión de fuerza o potencia, los ejes de transmisión son barras sometidas a cargas de flexión, tensión, compresión o torsión que actúan individualmente o combinadas.

Para el caso del dosificador de biomasa el eje se debe mantener en movimiento, el eje va a estar sometido principalmente al torque que genera la resistencia de la biomasa de la tolva.

El eje se diseña estáticamente y dinámicamente, se conoce como datos la carga a la cual va a estar sometido el sistema de alimentación, y la velocidad angular.

### 2.11.1 Diseño estático

Para el diseño se considera que se encuentra acoplado a un sistema de transmisión por engranajes a un motor eléctrico que transmite la potencia necesaria al tornillo sin fin apoyado entre dos rodamientos los mismos que absorben la fuerza radial.



**Figura 42-3:** Diagrama de cuerpo libre del eje

Fuente: El Autor

La carga del alimento se distribuye de manera uniforme, el peso de la biomasa del tornillo sin fin se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{P_p}{L} \quad (3.23)$$

Donde:

$P_p$ : Peso de la biomasa a ser transportada (Se toma por seguridad el peso total de la biomasa 25.71 Kg, los cuales fueron obtenidos de los requerimientos funcionales del gasificador)

$L$ : Longitud del tornillo sin fin (1.3 m)

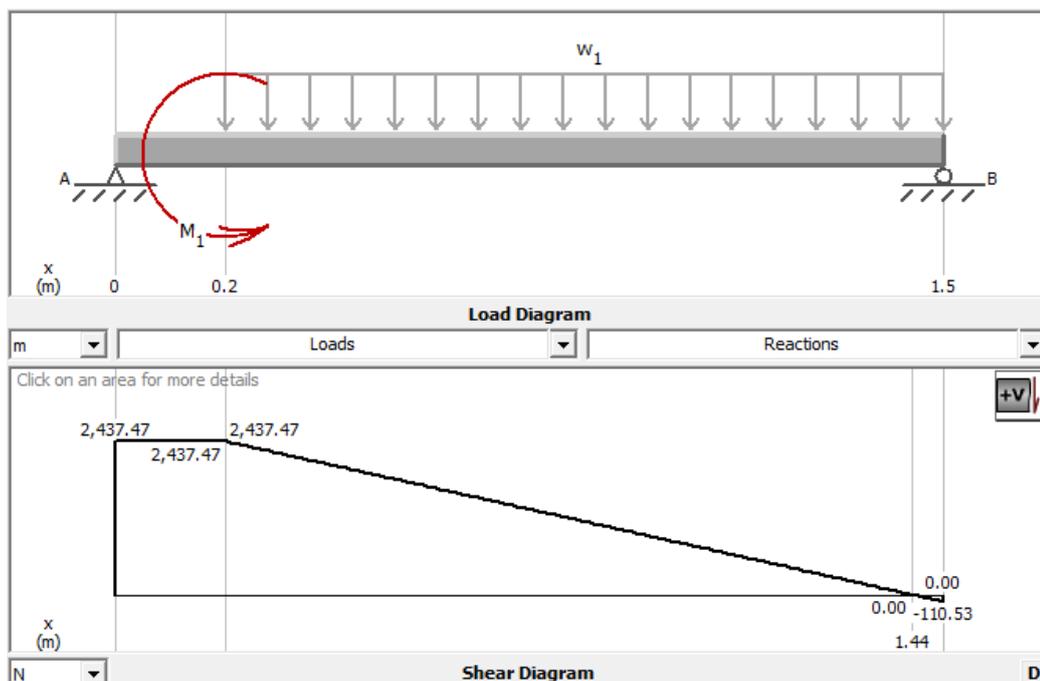
Para obtener la carga distribuida sobre el eje

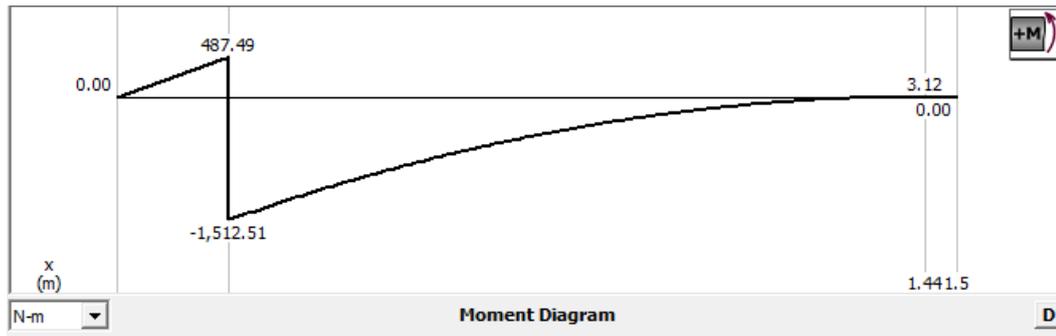
$$Q = \frac{25.71 \text{ kg}}{1.3 \text{ m}} = 19.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Dicha carga distribuida está aplicada a lo largo del eje y tiene un valor de  $19.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

Mediante mediciones experimentales se pudo obtener que para vencer la inercia tanto del eje así como de la biomasa a ser transportada se requiere de un momento torsor de 200 Nm.

Las cargas se lo representan en la figura, y con la ayuda del software MDSOLIDS, se puede determinar estas reacciones:





**Figura 43-3:** Diagrama de cargas X - Y

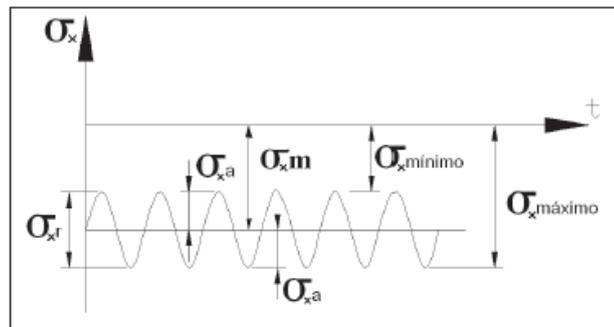
Fuente: El autor

El momento flector se encuentra en el plano X – Y según el eje de referencia que se asume y es igual a:

$$M_f = 1\,512,51 \text{ N m}$$

### 2.11.2 Material base del eje

En muchos casos se necesita determinar la resistencia de piezas correspondiente a estados de esfuerzo diferentes. En muchos casos los esfuerzos fluctúan sin pasar por cero. En la figura se muestra la relación esfuerzo – tiempo que se puede presentar.



**Figura 44-3:** Relación esfuerzo – tiempo. Esfuerzos medios y alternantes.

Fuente: (HERRERA, 2007)

Se ha seleccionado para el eje de transmisión un acero AISI 1045, el mismo que posee buenas características de resistencia mecánica. Las propiedades mecánicas del acero 1045 son:

$$S_{ut} = 500 \text{ MPa}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa} = 250\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$d_{min} = \left[ \frac{32 * n}{\pi * S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3.24)$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad = 1.5

$M$ : Momento flector = 1512 N m

$M_t$ : Momento torsor: 200 N m

$S_y$ : Resistencia a la fluencia: 250 000 000 N/m<sup>2</sup>

$$d_{min} = 50 \text{ mm}$$

### 2.11.3 *Diseño a fatiga*

Considerando la ecuación de fatiga de materiales se tiene:

$$S_e = S'_e * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e \quad (3.25)$$

Para aceros:

$$S'_e = 0,5 S_{ut} = 250 \text{ MPa}$$

Los factores de corrección por fatiga son:

$$K_a = \text{factor de superficie} = 0.9$$

$$K_b = \text{factor de tamaño} = 1$$

$$K_c = \text{factor de confiabilidad} = 1$$

$$K_d = \text{factor de temperatura} = 1$$

$$K_e = \text{factor de concentracion de esfuerzos} = \frac{1}{k_f}$$

$$K_f = 1 + q * (k_t - 1) \quad (3.26)$$

$q = \text{sensibilidad a las ranuras} = 0.5$

$K_t = \text{factor teorico de concentracion de esfuerzos} = 1.6$

Al resolver la ecuación se tiene:

$$K_f = 1.3$$

$$K_e = 0.8$$

Resuelta la ecuación se tiene:

$$S_e = 180 \text{ MPa}$$

El eje está sometido a flexión y torsión por lo tanto:

$$2 \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{M S_{ut}}{M_t S_e} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{1512 \text{ N m } 500 \text{ MPa}}{200 \text{ N m } 180 \text{ MPa}} \right) = 87.27 \quad (3.27)$$

$$\alpha = 43.63$$

$$\sigma_a = \frac{32 M \sin(2\alpha)}{\pi d^3} = 123 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{32 T \cos(2\alpha)}{\pi d^3} = 776 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1.2$$

El valor obtenido del factor de seguridad garantiza que el eje de transmisión no falle por fatiga.

Como ultima comprobación se va a realizar el cálculo de la deformación del eje de transmisión con la ecuación que se indica a continuación:

$$U_{max} = -\frac{5WL}{384 EI}$$

Donde:

$$P = \text{carga distribuida ubicada en el eje del dosificador: } 19.77 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$L = \text{longitud del tubo exterior del dosificador}$$

$$E = \text{módulo de Young del acero : } 200 \text{ GPa}$$

$$I = \text{inercia del eje del dosificador : } 3.269 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$U_{max} = -\frac{PL}{3EI} = -\frac{5 \left( \frac{19.77 \text{kg}}{\text{m}} \right) \left( \frac{9.8 \text{m}}{\text{s}^2} \right) (1.3 \text{m})^3}{384(200 \text{GPa})(3.269 \times 10^{-7} \text{m}^4)} = 0.39 \text{ mm}$$

#### 2.11.4 Cálculo de cargas de la hélice

Para el dimensionamiento del espesor de las aspas de la hélice se considera a las hélices como un anillo soportando la carga de arrastre de la biomasa forestal. Además que independientemente del cálculo del espesor subsiguiente es importante conocer que para la construcción de dicha hélice, existe un espesor mínimo de 3 mm para obtener la rigidez suficiente luego de la deformación de la plancha mediante torneado. Como se indica en la figura 33-3 es importante tener una excelente rigidez para evitar la fuga del gas pobre entre el tubo exterior del dosificador y los bordes de la hélice.

Además de que se observa que existen dos fuerzas principales que actúan en una junta tipo brida. A continuación se indican las cargas conocidas:

- Presión de funcionamiento del gasificador: 1 Atmósfera = 14.7 psi
- La carga de separación se la puede determinar a partir de la siguiente relación:

$$P = \frac{Q}{n_1 n_2} \quad (3.28)$$

Donde:

$$P = \text{carga que soporta cada helice}$$

$$Q = \text{flujo masico de biomasa en } \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$n_1: \text{numero de helices: } 5$$

$n_2$ : numero de revoluciones que gira cada hora

Si la velocidad del eje es de 3 RPM cada hora gira 180 revoluciones, por lo tanto:

$$P = \frac{25.71 \text{ kg}}{n_1 n_2} = 0.028 \text{ kg} = 0.28 \text{ N}$$

El momento al cual está sometida cada aspa se la puede determinar con la altura de cada aspa la cual en el dimensionamiento del transportador se lo determina como:

$$H_{aspa} = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$M = H_{aspa} * P = 0.028 \text{ Nm}$$

Para determinar la carga concentrada en el aspa de la hélice, tomando en cuenta que la junta soldada actúa como el apoyo. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$p = \frac{M_f}{r} \quad (3.29)$$

Donde:

$p$ : carga puntual que soporta el anillo de la brida

$n$ : número de pernos de la brida

$$M = 0.028 \text{ Nm}$$

$r$ : radio de curvatura de la brida: promedio del diametro interno y externo

$$p = \frac{M_f}{(n_1)^2 r} = \frac{0.028 \text{ Nm}}{(25)0.075\text{m}} = 0.014 \text{ N}$$

Luego de determinar la carga de la soldadura con la solicitud de carga más elevada se va a realizar el cálculo para determinar el espesor de la brida, como un elemento sometido a flexión pura.

Para determinar los diagramas de fuerza cortante y momento flector es importante asumir que el anillo de la brida se comporta como un elemento sometido a flexión con los siguientes datos:

Carga puntual: 0.014 N, aplicada en el centro del anillo.

Distancia entre apoyos, es el perímetro de la circunferencia del anillo.

$$\text{perímetro: } \pi (0.075 \text{ m}) = 0.235 \text{ m}$$

El momento máximo se lo puede determinar con la siguiente ecuación:

$$M = p \frac{\text{perímetro}}{2} \quad (3.30)$$

Donde:

*M*: momento máximo en el anillo de la brida

*p*: carga puntual aplicada en el perno de sujeción

*perímetro*: distancia entre apoyos

$$M = p \frac{\text{perímetro}}{2} = 0.014 * \frac{0.235}{2} \text{ N m} = 0.0016 \text{ Nm}$$

$$M_f = 0.0016 \text{ Nm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3$$

La base es la diferencia entre diámetro interno y externo del anillo, mientras que la altura es el espesor, el cual se puede asumir y ser igual a 3 mm para facilitar la soldadura de a brida con el tubo exterior.

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (0.075\text{m})(0.003\text{m})^3 = 1.6875 * 10^{-10} \text{m}^4$$

*y*: es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra externa de la brida =  $\frac{3}{2} \text{ mm}$

$$\sigma = \frac{M_f y}{I_x} = \frac{0.0016 \text{ Nm} (1.5 * 10^{-3} \text{ m})}{1.6875 * 10^{-10} \text{ m}^4} = 1.422 * 10^{-3} \text{ MPa}$$

En el apartado anterior se determinó un elevado factor de seguridad para el diseño del tubo exterior, pero para el diseño de la brida se tiene:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{250 \text{ Mpa}}{1.422 * 10^{-3} \text{ MPa}} = 2.5$$

Como se mencionó anteriormente la función principal de las hélices será tener una estabilidad dimensional para evitar las fugas de gas pobre, y por ello se mantiene el espesor de 3 mm seleccionado anteriormente.

### 2.11.5 Selección de chumaceras

En esta sección se realiza la selección de rodamientos necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Se requiere el cálculo de la reacción radial mayor sobre los apoyos mediante la siguiente relación:

$$R_r = \sqrt{(R_A^2 + R_B^2)} \quad (3.31)$$

Donde:

$R_A$  y  $R_B$  son fuerzas que van a actuar en el rodamiento

Entonces se tiene:

$$R_A = 2437 \text{ N}$$

$$R_B = - 110 \text{ N}$$

Las anteriores son cargas de diferente magnitud, por lo que se puede diseñar indistintamente un solo tipo de rodamiento para los dos apoyos. Para esto se calcula la capacidad de carga dinámica mediante la relación:

$$L_{10} = \frac{1000000}{60n} \left( \frac{C}{P_r} \right)^p \quad (3.32)$$

Donde:

$L_{10}$  = duración nominal en horas de servicio = 20 000

$C$  = capacidad de carga dinámica

$P_r$  = carga dinámica equivalente sobre el rodamiento

$p =$  exponente de la fórmula de duración = 3 (rodamiento de bolas)

$n =$  velocidad de rotación = (máximo 50 RPM)

Entonces el valor de seguridad de carga está dado por:

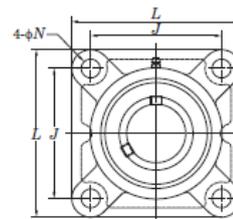
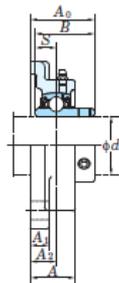
$$\frac{C}{P_r} = 4 \quad (3.33)$$

Puesto que el rodamiento está sometido a carga radial pura  $P_r = R_a = 2437 N$

$C > 8P = 9748N$

Para un diámetro de 50 mm se elige el rodamiento con soporte, con designación F210.

**UCF**  
**Agujero cilíndrico (con tornillos prisioneros)**  
 $d$  (45) ~ (75) mm



Diámetro del eje mm    inch	$d$	Medidas inch    mm									Tamaño del tornillo inch    mm	Código Unidad.	Estándar	
		$L$	$A$	$J$	$N$	$A_1$	$A_2$	$A_0$	$B$	$S$			Código Soporte.	Código Rodamiento
45	$1 \frac{11}{16}$ $1 \frac{3}{4}$	$5 \frac{5}{8}$ 143	$1 \frac{9}{16}$ 40	$4 \frac{3}{8}$ 111	$\frac{3}{4}$ 19	$\frac{9}{16}$ 14	$\frac{29}{32}$ 23	$2 \frac{3}{16}$ 55.6	2.031 51.6	0.748 19	$\frac{5}{8}$ M16	UCFX09-27 UCFX09-28 UCFX09	FX09	UCX09-27 UCX09-28 UCX09
	$1 \frac{3}{4}$	$6 \frac{5}{16}$ 160	$1 \frac{23}{32}$ 44	$4 \frac{39}{64}$ 125	$\frac{3}{4}$ 19	$\frac{23}{32}$ 18	$\frac{63}{64}$ 25	$2 \frac{3}{8}$ 60	2.244 57	0.866 22	$\frac{5}{8}$ M16	UCF309-28 UCF309	F309	UC309-28 UC309
50	$1 \frac{7}{8}$	$5 \frac{5}{8}$ 143	$1 \frac{9}{16}$ 40	$4 \frac{3}{8}$ 111	$\frac{5}{8}$ 16	$\frac{5}{8}$ 16	$\frac{55}{64}$ 22	$2 \frac{5}{32}$ 54.6	2.031 51.6	0.748 19	$\frac{1}{2}$ M14	UCF210-30 UCF210-31 UCF210	F210	UC210-30 UC210-31 UC210
	$\frac{7}{8}$	$6 \frac{3}{8}$ 162	$1 \frac{23}{32}$ 44	$5 \frac{1}{8}$ 130	$\frac{3}{4}$ 19	$\frac{25}{32}$ 20	$1 \frac{1}{32}$ 26	$2 \frac{11}{32}$ 59.4	2.189 55.6	0.874 22.2	$\frac{5}{8}$ M16	UCFX10-31 UCFX10 UCFX10-32	FX10	UCX10-31 UCX10 UCX10-32
	$1 \frac{15}{16}$	$6 \frac{7}{8}$ 175	$1 \frac{7}{8}$ 48	$5 \frac{19}{64}$ 132	$\frac{29}{32}$ 23	$\frac{3}{4}$ 19	$1 \frac{7}{64}$ 28	$2 \frac{5}{8}$ 67	2.402 61	0.866 22	$\frac{3}{4}$ M20	UCF310	F310	UC310
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Figura 45-3:** Cuadro selección chumaceras

Fuente: (UFC, 2008)

### 2.11.6 Selección de motorreductor y variador de frecuencia

Los criterios para la selección del motorreductor son la potencia necesaria para llevar a cabo la dosificación de biomasa y la velocidad de giro, la velocidad de giro necesaria es

muy baja (menor a 5 rpm), pero es extremadamente difícil alcanzar dicha velocidad con un motoreductor por lo cual el sistema debe ser acoplado a un variador de frecuencia para alcanzar velocidades bajas.

El momento torsor necesario para realizar el trabajo es:

$M_t$ : Momento torsor: 200 N m, obtenido del diseño del eje de transmisión.

RPM : 30 rpm = 3.1416 rad/s,

La velocidad de funcionamiento óptima es 3 RPM, pero el motoreductor requiere de un variador de frecuencia para funcionar a bajas velocidades. Por lo tanto la selección del motoreductor se lo realizara en condiciones en las cuales se requiera funcionando sin un variador de frecuencia.

Con los datos anteriores se obtiene la potencia requerida del motoreductor:

Potencia = RPM \*  $M_t$  = 628.32 watts = 0.842 HP

Donde:

RPM: velocidad angular del motoreductor : 30 RPM = 3.1416 rad/s.

Se selecciona un motoreductor de 1 HP con una velocidad máxima de giro de 30 RPM.

## Motorreductores Motorreductores de ejes coaxiales

Motorreductores de hasta 200 kW

Datos para selección y pedidos (continuación)

Potencia $P_{\text{motor}}$ kW	Velocidad de salida		Par de salida $T_2$ Nm	Factor de servicio $f_s$	Índice de reducción $i_{\text{tot}}$	Referencia	Código (n.º polos)	Peso <sup>*)</sup> kg	
	$n_2$ (50 Hz) min <sup>-1</sup>	$n_2$ (60 Hz) min <sup>-1</sup>							
0,75 (50 Hz)	Z.48-LA80M4								
0,9 (60 Hz)	38	46	190	2,4	37,06 ★	2KJ1103 - ■DC13 - ■■V1		31	
	D.38-LA80M4								
	26	31	271	0,81	52,86	2KJ1202 - ■DC13 - ■■F1		22	
	Z.38-LA80M4								
		32	38	227	0,8	44,12 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■A2		21
		36	43	201	1,0	39,24	2KJ1102 - ■DC13 - ■■X1		21
		41	49	175	1,3	34,04 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■W1		21
		44	53	163	1,3	31,80	2KJ1102 - ■DC13 - ■■V1		21
		50	60	144	1,5	27,97 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■U1		21
		57	68	126	1,7	24,50	2KJ1102 - ■DC13 - ■■T1		21
		64	77	111	2,0	21,67 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■S1		21
		71	85	101	2,2	19,64	2KJ1102 - ■DC13 - ■■R1		21
		80	96	89	2,5	17,33 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■Q1		21
	89	107	80	2,7	15,64	2KJ1102 - ■DC13 - ■■P1		21	
	98	118	73	3,0	14,18 ★	2KJ1102 - ■DC13 - ■■N1		21	
	108	130	66	3,3	12,92	2KJ1102 - ■DC13 - ■■M1		21	

**Figura 46-3:** Selección Motoreductor

Fuente: (APRENDERPLC, 2011)

Para la selección del variador de frecuencia es necesario conocer el voltaje de trabajo del motoreductor, el cual es de 220 V, y dicha variación puede disminuir la velocidad de giro en una relación 1:10, con lo cual ya se puede alcanzar la velocidad de 3 rpm necesaria.

## Convertidores compactos SINAMICS G120C

de 0,55 kW a 18,5 kW

### Convertidores compactos SINAMICS G120C

#### Datos para selección y pedidos

La selección de las referencias se realiza de acuerdo con

- la potencia del motor requerida, o mediante la corriente de motor exigida y los requisitos de sobrecarga de la aplicación,
- la clasificación CEM necesaria y
- la interfaz de bus de campo integrada que se desee

Potencia asignada <sup>1)</sup>		Intensidad con carga básica $I_L$ <sup>2)</sup>	Intensidad con carga básica $I_H$ <sup>3)</sup>	Tamaño (Frame Size)	Ejecución	SINAMICS G120C sin filtro de red	SINAMICS G120C con filtro de red integrado de clase A
kW	hp					Referencia	Referencia
3 AC 380 ... 480 V							
0,55	0,75	1,7	1,3	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE11-8UB1	6SL3210-1KE11-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE11-8UP1	6SL3210-1KE11-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE11-8UF1	6SL3210-1KE11-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE11-8UC1	6SL3210-1KE11-8AC1
0,75	1	2,2	1,7	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE12-3UB1	6SL3210-1KE12-3AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE12-3UP1	6SL3210-1KE12-3AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE12-3UF1	6SL3210-1KE12-3AF1
					CANopen	6SL3210-1KE12-3UC1	6SL3210-1KE12-3AC1
1,1	1,5	3,1	2,2	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE13-2UB1	6SL3210-1KE13-2AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE13-2UP1	6SL3210-1KE13-2AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE13-2UF1	6SL3210-1KE13-2AF1
					CANopen	6SL3210-1KE13-2UC1	6SL3210-1KE13-2AC1
1,5	2	4,1	3,1	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE14-3UB1	6SL3210-1KE14-3AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE14-3UP1	6SL3210-1KE14-3AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE14-3UF1	6SL3210-1KE14-3AF1
					CANopen	6SL3210-1KE14-3UC1	6SL3210-1KE14-3AC1
2,2	3	5,6	4,1	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE15-8UB1	6SL3210-1KE15-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE15-8UP1	6SL3210-1KE15-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE15-8UF1	6SL3210-1KE15-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE15-8UC1	6SL3210-1KE15-8AC1

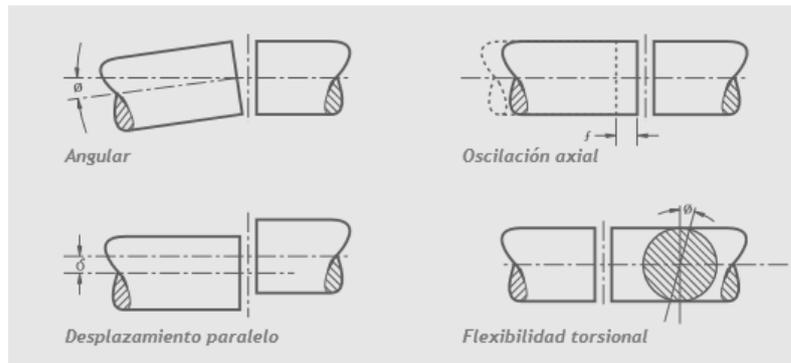
**Figura 47-3** Selección Variador de Frecuencia

Fuente: (SINAMICS, 2014)

#### 2.11.7 Selección de acople entre el eje y motoreductor

Para la selección del acoplamiento se lo realiza en base a los diferentes tipos de desalineación existentes y el torque máximo a ser transmitido.

La solución para la desalineación son los acoples flexibles, los cuales pueden tolerar cualquier combinación de desalineaciones mostradas en la figura, ya sean: angular, de desplazamiento paralelo, oscilación axial o flexibilidad torsional.



**Figura 48-3:** Desalineaciones de acoples flexibles

Fuente: (RENOLD, 2010)

Para proceder a seleccionar el acoplamiento adecuado se requiere conocer:

- La potencia a ser transmitida
- Régimen de revoluciones por minuto
- Dimensiones de los ejes a ser conectados

Procedimiento de selección:

- La potencia a ser transmitida es importante y se la determinó en la selección del motoreductor. (Potencia= 1 hp)
- A continuación se debe establecer la clasificación de carga adecuada, como se indica en la figura, indicada como S para transportadores de tornillo sinfín.

Transportadores - de carga uniforme o alimentados	
De cadena articulada	S
De montaje	S
Cinta	S
Cangilones	S
Cadena	S
Rastras	S
Horno	S
Tornillo	S

**Figura 49-3:** Clasificación de carga

Fuente: (Puente, 2000)

- Si la carga es estable el factor de servicio es igual a uno ( $f_d=1$ ), para motores eléctricos. Como se indica en la figura:

Accionamiento principal (entrada de accionamiento)	Características de la maquinaria accionada		
	Duración de servicio horas/día	Carga estable	Impulsividad media
Motores eléctricos, neumáticos e hidráulicos o turbina de vapor (Entrada estable)	Intermitente - 3 h/día máx.	0,90	1,00
	3 - 10	1,00	1,25
	más de 10	1,25	1,50
Motor de C.I. multicilíndrico Entrada con impulsividad media)	Intermitente - 3 h/día máx.	1,00	1,25
	3 - 10	1,25	1,50
	más de 10	1,50	1,75

**Figura 50-3:** Factor de servicio

Fuente: (RENOLD, 2010)

- Debido a que la frecuencia de arranques es de un arranque cada día el factor  $f_s$  será tomado como 1 ( $f_s=1$ ).

No. de arranques por hor	0-1	1-30	30-60	60-
Factor	1,0	1,2	1,3	1,5

**Figura 51-3:** Factor de arranques/hora

Fuente: (RENOLD, 2010)

- El siguiente paso es determinar la potencia equivalente como se indica en la siguiente ecuación:

$$P_{eq} = P f_s f_d \quad (3.34)$$

Donde:

$P_{eq}$ : potencia equivalente

$P$ : Potencia calculada: 1 hp

$f_s$ : factor de arranques: 1

$f_d$ : factor de servicio: 1

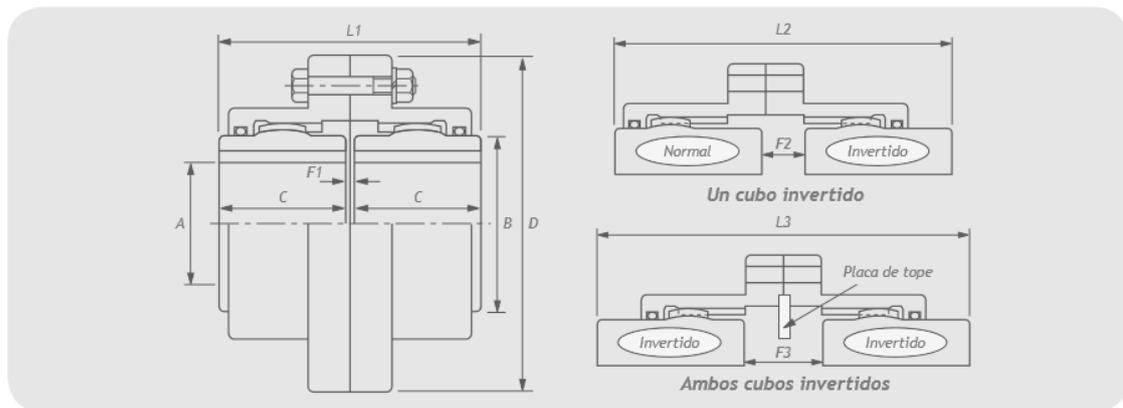
Por lo tanto:

$$P_{eq} = 1 \text{ hp} (1)(1) = 1 \text{ hp}$$

Para realizar la selección del acople se requiere además calcular la potencia equivalente a 100 rpm.

$$P_{eq-100} = 1 \text{ hp} \frac{100}{3 \text{ rpm}} = 33.33 \text{ rpm}$$

Con los parámetros calculados anteriormente se procede a realizar la selección del acople flexible:



Tamaño de acoplamiento	Referencia	Potencia /100rpm kW	Par nominal Nm	Velocidad max.** rpm	Agujero A		Dimensiones										Desplazamiento max. mm	
					Máx. mm	Min. mm	B mm	C mm	D mm	F1 mm	F2 mm	F3 mm	L1 mm	L2 mm	L3 mm	Masa kg		Wr <sup>2</sup> kg m <sup>2</sup>
GF10DA	6901108	14,9	1423	7100	46	14	60	43	116	3	5	6	89	90	92	4,2	0,006	1,2
GF15DA	6901158	28,2	2693	5400	57	20	76	49	152	3	8	13	102	106	111	7,7	0,020	1,5

**Figura 52-3:** Serie A de engranaje doble tipo DA

Fuente: (RENOLD, 2010)

El acople que nos permite realizar la transmisión de potencia entre el motoreductor y el dosificador de biomasa es de la serie GF15DA, con una potencia a 100 rpm de 28,2, permitiendo un diámetro máximo y mínimo de los ejes de 57 y 20 mm respectivamente.

### 2.11.8 Mecanismo compuerta de apertura de biomasa forestal

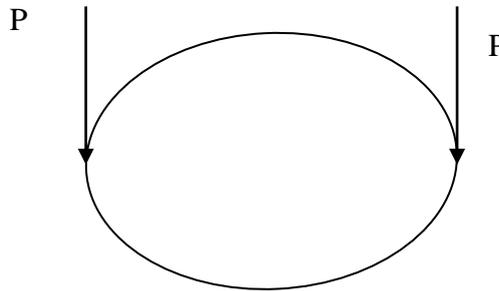
El mecanismo antiatascamiento consta de un disco circular en el fondo de la tolva, el cual puede rotar para permitir el paso de la biomasa, el mecanismo de compuerta tiene diferentes funciones como se indica a continuación:

- Evita la caída brusca de material hacia el dosificador
- Permite controlar el inicio de la dosificación al funcionar como compuerta de apertura de la biomasa hacia las hélices del transportador.

Las dimensiones de la compuerta de apertura son las siguientes:

$$\text{diametro} = 22 \text{ cm}$$

El apoyo tipo bisagra lo tiene en el centro del disco y para determinar el espesor de dicho disco se asume que la carga de 155 kg correspondiente a la biomasa se encuentra sobre el mecanismo de apertura, y debido a que existe una bisagra en el centro del disco la carga se divide entre dos cargas P como se indica en la figura:



**Figura 53-3:** División de cargas

Fuente: Autor

El momento flector se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$M = P r \quad (3.35)$$

Donde :

$M = \text{momento flector máximo}$

$P = \text{carga de biomasa dividida entre 2} = 77.5 \text{ kg} = 759.5 \text{ N}$

$r = \text{radio del disco} = 25 \text{ cm} = 0.025 \text{ m}$

Por lo tanto:

$$M = 759.5 \text{ N} (0.025\text{m}) = 18.99 \text{ N m}$$

Se está trabajando con un disco sometido a flexión, pero por efectos de simplificación se lo va a considerar como una placa de acero para el cálculo de la inercia:

$b = \text{radio del disco} = 11 \text{ cm}$

$h^3 = \text{espesor del disco al cubo} = 3 \text{ mm}$

El espesor del disco se asume como 3 mm para realizar la comprobación con el factor de seguridad.

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (0.011 \text{ m})(0.003 \text{ m})^3 = 2.475 * 10^{-11} \text{ m}^4$$

*y*: es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra externa de la brida =  $\frac{3}{2} \text{ mm}$

$$\sigma = \frac{M_f y}{I_x} = \frac{18.99 \text{ N m} (1.5 * 10^{-3} \text{ m})}{2.475 * 10^{-11} \text{ m}^4} = 115.1 \text{ MPa}$$

En el apartado anterior se determinó un elevado factor de seguridad para el diseño del tubo exterior, pero para el diseño de la compuerta de biomasa se tiene:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{250 \text{ MPa}}{115.1 \text{ MPa}} = 2.1$$

El factor de seguridad es muy aceptable para el funcionamiento de la compuerta de apertura de biomasa.

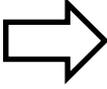
### **Construcción:**

A continuación, se presenta la construcción del Dosificador a partir de los parámetros establecidos con anterioridad en la etapa de diseño; para cada actividad de transporte, almacenamiento, operación e inspección se tomará en cuenta el cumplimiento de la normativa ASME vigente, de manera que, los procesos estén dentro de los parámetros técnicos, garantizando eficiencia y resultados óptimos:

**Tabla 17-3. (Continua). Construcción Camisa**

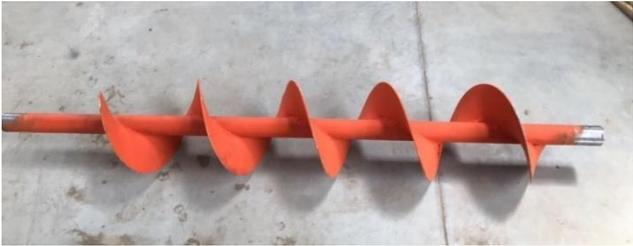
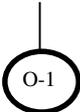
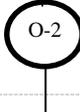
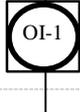
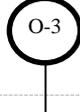
	<b>Construcción Camisa</b>	<b>Código:</b> CD01
		<b>Fecha de Elaboración:</b> 23/03/17
		<b>Última Aprobación:</b>
		<b>Revisión:</b>
<b>Elaborado por:</b> Juan Fonseca	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>OBJETIVO:</b> Establecer procedimiento para la construcción del Dosificador para el Gasificador tipo Downdraft de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.		
<b>IMAGEN</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		
PROCESO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
	<b>O-1:</b> Adquirir Material	Planchas de acero negro.
	<b>O-2:</b> Barolar planchas para tubos.	Planchas deben poseer un grosor de 3mm.
	<b>OI-1:</b> Soldar plancha barolada.	Para mayor precisión se utiliza soldadora tipo MIG.
	<b>O-3:</b> Elaborar bridas.	Para mayor precisión se realiza el corte utilizando una cortadora plasma.
	<b>O-4:</b> Cortar tapas de tubo.	Para mayor precisión se realiza el corte utilizando una cortadora plasma.
	<b>OI-2:</b> Soldar bridas al tubo.	
	<b>OI-3:</b> Soldar tapas.	

**Tabla 18-3. Construcción Camisa**

	<b>O-5:</b> Perforar bridas	Se perfora las bridas para la colocación de pernos.		
	<b>O-6:</b> Perforar eje para montaje de chumacera.			
	<b>O-7:</b> Perforar la camisa para unirla con la tolva.	Perforar para entrada y salida de alimentación de materia prima.		
	<b>E-1:</b> Esperar hasta la construcción de tornillo y tolva.			
<b>NOMENCLATURA</b>				
 Operación	 Espera	 Operación Combinada	 Almacenamiento	 Transporte

Fuente: Autor

**Tabla 19-3** Construcción Tornillo

	<b>Construcción Tornillo</b>	<b>Código:</b> CD02
		<b>Fecha de Elaboración:</b> 23/03/17
		<b>Última Aprobación:</b>
		<b>Revisión:</b>
<b>Elaborado por:</b> Juan Fonseca	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>OBJETIVO:</b> Establecer procedimiento para la construcción del Dosificador para el Gasificador tipo Downdraft de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.		
<b>IMAGEN</b>		
		
<b>PROCESO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
	<b>O-1:</b> Adquirir Eje	
	<b>O-2:</b> Adquirir Aspas	Planchas deben poseer un grosor de 3mm.
	<b>OI-1:</b> Soldar eje y aspas.	
	<b>O-3:</b> Rectificar aspas.	
	<b>O-4:</b> Reducir diámetro mayor del eje para instalación del acople.	
	<b>E-1:</b> Esperar hasta la construcción de tolva.	
<b>NOMENCLATURA:</b>		
 Operación	 Espera	 Almacenamiento
		 Transporte
 Operación Combinada		

Fuente: Autor

**Tabla 20-3 (Continua). Construcción Tolva**

	<b>Construcción Tolva</b>	<b>Código:</b> CD01
		<b>Fecha de Elaboración:</b> 23/03/17
		<b>Última Aprobación:</b>
		<b>Revisión:</b>
<b>Elaborado por:</b> Juan Fonseca	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>OBJETIVO:</b> Establecer procedimiento para la construcción del Dosificador para el Gasificador tipo Downdraft de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.		
<b>IMAGEN</b>		
		
PROCESO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
	<b>O-1:</b> Adquirir Material	Planchas de acero inoxidable 1 mm.
	<b>O-2:</b> Fabricar Tolva	Planchas deben poseer un grosor de 1mm.
	<b>O-3:</b> Construir la tapa de la tolva	
	<b>O-4:</b> Soldar seguros para la unión tapa – tolva.	
	<b>OI-1:</b> Soldar seguros para la unión tolva – camisa.	
	<b>OI-2:</b> Fabricar mecanismo de destrabamiento.	

**Tabla 21-3** Construcción Tolva

	<b>E-1:</b> Esperar hasta la construcción de tornillo y tolva.	
	<b>OI-3:</b> Unir todas las partes construidas con pernos y verificar su correcto funcionamiento.	
<b>NOMENCLATURA</b>		
 Operación	 Espera	 Almacenamiento
		 Transporte
 Operación Combinada		

Fuente: Autor

### Pruebas de Funcionamiento

Para la realización de pruebas que evalúen el funcionamiento del dosificador de biomasa forestal para que otorgue una alimentación continua al Gasificador tipo Downdraft de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se procede como primer paso a estandarizar el proceso existente a través de diagramas de flujo, que denoten las actividades necesarias para la puesta a punto y el proceso de gasificación demostrando el antes y después de la instalación del dosificador.

Tras el análisis de varias investigaciones realizadas en diferentes proyectos alrededor del mundo, es notable que el uso de un dosificador mejora las condiciones de funcionamiento de un proceso, haciéndolo más eficiente al poder dosificar cantidades acorde a las necesidades presentes, ya que, al regular la velocidad con la que se mueve el tornillo sin fin se asegura de que la cantidad necesaria de materia prima será dosificada en el tiempo requerido por el proceso otro claro beneficio con la aplicación de un dosificador es la reducción de mano de obra, lo que precautela el bienestar del personal a cargo.

Es por eso que, con la estandarización del proceso (Anexo 9) se observa claramente la diferencia existente entre las actividades necesarias para el proceso de gasificación antes del uso del dosificador, en el que, para las recargas se debe abrir constantemente la tapa superior del gasificador, permitiendo el ingreso de aire al proceso, perdiendo así la calidad del gas generado.

Además de requerir constantemente la supervisión de personal, acto que resulta peligroso por las condiciones en las que se encuentra la infraestructura actual del dosificador, este panorama puede ser contrastado posteriormente con el segundo diagrama de flujo (Anexo 10) en el que se observa que con el uso del dosificador se reduce notablemente las actividades necesarias para alimentar al gasificador haciéndolo en una sola carga y siendo el dosificador el encargado de suministrar biomasa forestal de manera continua, mejorando la calidad de gas y disminuyendo el uso de mano de obra humana en el proceso.

A continuación, se presenta evidencias fotográficas del proceso llevado a cabo de forma resumida:

Se realiza la instalación de las tuberías, el blower, el motor y el variador para el correcto funcionamiento del gasificador.



**Figura 54-3:** Motoreductor y variador

Fuente: El autor



**Figura 55-3:** Conexión tuberías y blower

Fuente: El autor

Se genera pruebas preliminares mediante el uso de carbón vegetal, cargando el gasificador parcialmente con leña y encendiéndolo con un poco de Diesel, esperando 10 minutos hasta que el lecho esté encendido.



**Figura 56-3:** Lecho encendido

Fuente: El autor



**Figura 57-3:** Colocar carbón vegetal

Fuente: El autor

Para estas pruebas se carga por única vez la cantidad de biomasa necesaria para la dosificación (30kg).



**Figura 58-3:** Carga de biomasa

Fuente: El autor

Se comprueba la correcta dosificación de biomasa forestal al gasificador a partir del uso de un tornillo sin fin, que se mueve a una velocidad 3RPM.



**Figura 59-3:** Dosificación de biomasa forestal

Fuente: El autor

Se cierran herméticamente las compuertas del gasificador (superior, laterales y de la tolva del dosificador) gracias a la acción de los empaques existentes.



**Figura 60-3:** Cerrado hermético de la tapa superior

Fuente: El autor

Se observa la producción de gas pobre, en este caso, la llama tuvo una duración de 2.5 horas con una gasificación de 30 kg.



**Figura 62-3:** Presencia de gas pobre

Fuente: El autor



**Figura 61-3:** Llama

Fuente: El autor

A partir de ahí, se pesa las cenizas generadas después del proceso de gasificación para generar un estudio analítico de la variación en la eficiencia con el uso del dosificador.

Para un estudio analítico de lo expuesto, se toma como referencia las pruebas realizadas en la tesis “Desarrollo de un proceso tecnológico de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre” desarrollado por los ingenieros Edison Fonseca y Luis Tierra obteniendo los valores de la composición elemental de las briquetas, para 1 kg de combustible sólido:

**Tabla 22-3** Composición de briquetas

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad (%)</b>
$C^t$	39.07
$H^t$	4.45
$O^t$	28.88
$N^t$	0.55
$S^t$	< 0.03
$W_{BH}$	7.80

Fuente: (TIERRA, 2011)

Donde:

Ct = % carbono, en masa de trabajo (base húmeda).

Ht = % hidrógeno

Ot = % oxígeno.

Nt = % nitrógeno.

St = % azufre.

WBH= Humedad del combustible sólido, en base húmeda.

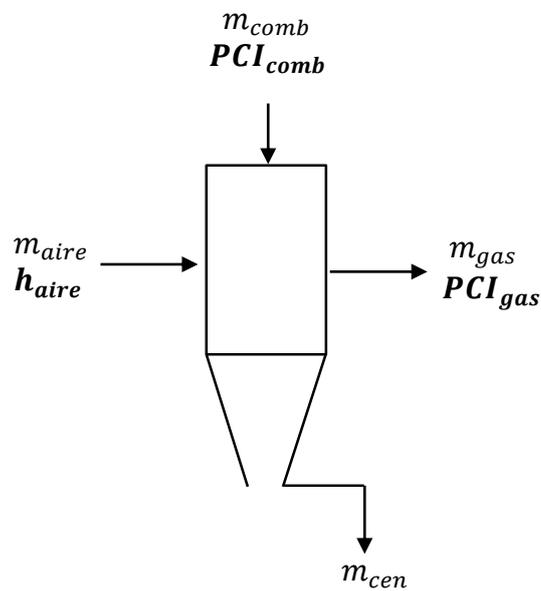
Partiendo de los siguientes estatutos:

**Tabla 23-3** Masa y consumo de briquetas

Masa en 1,5 horas	30kg
Consumo (kg/h)	25.71

Fuente: (TIERRA, 2011)

Se genera un balance de masas comparativo entre el proceso realizado sin el dosificador y con el uso del mismo, obteniendo que:



**Figura 63-3:** Flujos de masa y energía

Autor: (Análisis Termodinámico ANKUR, 2010)

Balance de masas sin dosificador en 1 hora:

$$m_{comb} + m_{aire} = m_{gas} + m_{ceni} \quad (3.36)$$

$$m_{gas} = m_{comb} + m_{aire} - m_{ceni}$$

$$m_{gas} = 25.71 + 68.34 - 4.28(kg)$$

$$m_{gas} = 89.77 (kg)$$

(Análisis Termodinámico ANKUR, 2010)

Balance de masas con dosificador en 1 hora:

$$m_{comb} + m_{aire} = m_{gas} + m_{ceni}$$

$$m_{gas} = 25.71 + 68.34 - 1.3 \text{ (kg)}$$

$$m_{gas} = 92.75 \text{ (kg)}$$

### Resultado de balance de masas

**Tabla 24-3** Comparación balance de masas

	$m_{comb}$ (kg)	$m_{aire}$ (kg)	$m_{ceni}$ (kg)	$m_{gas}$ (kg)
<b>Sin Dosificador</b>	25.71	68.34	4.28	89.77
<b>Con Dosificador</b>	25.71	68.34	1.3	92.75

Fuente: El autor

Con la comparación de cálculos se determina que con el uso del dosificador la masa de gas aumenta en un 3.21%. A partir de ahí se obtiene el cálculo de la eficiencia del gasificador:

Para evaluar el poder calorífico del gas generado en el gasificador, se puede determinar por la siguiente expresión:

$$PCI_g = -0.0009W_{BH}^3 - 0.0001W_{BH}^2 - 7.539W_{BH} + 1339.3 \left[ \frac{kcal}{Nm^3} \right] \quad (3.37)$$

(Análisis Termodinámico ANKUR, 2010)

Donde:

$PCI_g$ = Poder calorífico del gas

$W_{BH}$ = Humedad del combustible sólido, en base húmeda.

Nm<sup>3</sup>= Metros cúbicos a condiciones normales, esto es T=20°C, P=1atm

Además de evaluar la eficiencia del gasificador con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\eta = \left( \frac{m_{gas} * PCI_{gas}}{m_{comb} * PCI_{comb} + m_{aire} * h_{aire}} \right) \quad (3.38)$$

(Análisis Termodinámico ANKUR, 2010)

Donde:

$m_{gas}$  = Masa de gas

$PCI_{gas}$  = Poder calorífico del gas

$m_{comb}$  = Masa de combustible

$PCI_{combustible}$  = Poder calorífico del combustible

$m_{aire}$  = Masa de aire

$h_{aire}$  = Entalpía aire

**Tabla 25-3** Comparación de eficiencia

	$m_{gas}$ (kg/h)	$PCI_{gas}$ (kJ/m <sup>3</sup> )	$m_{comb}$ (kg/h)	$PCI_{combustible}$ (kJ/kg <sub>comb</sub> )	$m_{aire}$ (kg/h)	$h_{aire}$	Eficiencia %
<b>Sin Dosificador</b>	89.77	5359	25.71	15850	68.34	1500	63.07%
<b>Con Dosificador</b>	92.75	5359	25.71	15850	68.34	1500	69.16%

Fuente: El autor

Tras los cálculos desarrollados se determina que a partir del uso del dosificador que alimente de manera continua al gasificador se obtiene un incremento en la eficiencia de 6,09%.

## CAPÍTULO IV ESTUDIO DE COSTOS

### 2.12 Costos Directos

#### 4.1.1 Parte Mecánica:

##### Transportador:

**Tabla 26-4** Costos Directos Transportador

Cantidad	Ítem	Valor Unitario	Valor Total
1	Plancha 3mm	58.55	58.55
1	Pintura anticorrosiva (lt)	8.00	8.00
2	Tinher (lt)	1.00	2.00
3	Chumaceras	25.00	75.00
	Pernos	5.28	5.28
1	Matrimonio	45.00	45.00
1	Tornillo sin fin	280.00	280.00
1	Tubo y corte	30.00	30.00
	Embarolar	25.00	25.00
	Soldar	20.00	20.00
	Corte Bidas	25.00	25.00
	Soldar y placas	80.00	80.00
	Torno	60.00	60.00
	Unidad de admisión gasificador	220.00	220.00
<b>SUBTOTAL</b>			933.83

Fuente: El autor

##### Tolva:

**Tabla 27-4** Costos Directos Tolva

Cantidad	Ítem	Valor Unitario	Valor Total
2	Planchas 1 mm	24.54	49.08
1	Pintura anticorrosiva (lt)	8.00	8.00
2	Tinher (lt)	1.00	2.00
1	Fabricación tolva	100.00	100.00
	Pernos	5.28	5.28
	Soldar	20.00	20.00
	Regulación de tolva	50.00	50.00
	Tapa Tolva y mecanismo	110.00	110.00
<b>SUBTOTAL</b>			344.36

Fuente: El autor

### Elementos Eléctricos:

**Tabla 28-4** Costos Elementos Eléctricos

<b>Cantidad</b>	<b>Ítem</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
1	Variador	250.00	250.00
1	Motoreductor	750.00	750.00
1	Extensión Eléctrica 20m	30.00	30.00
<b>SUBTOTAL</b>			1030.00

### **Total Costos Directos:**

**Tabla 29-4** Total Costos Directos

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Transportador	933.83
Tolva	344.36
Elementos Eléctricos	1278.19
Parte Eléctrica	1030.00
<b>SUBTOTAL</b>	2308.19

Fuente: El autor

### **2.13 Costos Indirectos:**

Son aquellos costos que no pueden ser asignados con precisión, dentro de los costos indirectos se tiene:

- Criterio de ingeniería.
- Imprevistos.
- Utilidades.

#### **Criterio de ingeniería.**

Toma en cuenta el trabajo realizado por parte del profesional encargado de la investigación y diseño del equipo, el valor del criterio de ingeniería está en el rango del 10 al 15 % de los costos directos.

#### **Imprevistos.**

Para costos por imprevistos se consideró el 5% de los costos directos.

## Utilidades.

Se considera el 0% del costo del equipo, debido a que es un proyecto de tesis de grado. En caso de ser un trabajo particular debe tomarse en cuenta la asignación del valor correspondiente.

**Tabla 30-4** Costos Indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (%)</b>	<b>Costo</b>
Criterio de ingeniería	10	230.80
Imprevistos	5	115.40
Utilidades	0	0.00
<b>SUBTOTAL</b>		346.20

Fuente: El autor

## 2.14 Costo Total:

**Tabla 31-4** Costo Total Dosificador

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Costos Directos	2308.19
Costos Indirectos	346.20
<b>SUBTOTAL</b>	2654.39

Fuente: El autor

## CONCLUSIONES

- En el estudio de transporte de desechos sólidos se determinó que los transportadores de sólidos volumétricos son utilizados principalmente en la agricultura, siendo los transportadores de tornillo los equipos más sencillos y económicos que existen para mover sólidos de un lugar a otro de cualquier instalación. Con la aplicación de este tipo de transportadores existe basta evidencia de que se obtiene varias ventajas como: eficiencia del proceso, disminución de daños en los equipos, disminución en las horas de trabajo de los operarios, entre otras.
- Al considerar que la principal actividad es transportar biomasa forestal para la obtención de gas combustible a un flujo másico de 25,71 kg/h se determina la utilización de un transportador basado en un tornillo sin fin, puesto que permite desplazar partículas sólidas y medir la dosificación mediante la velocidad del motor que lo controla, además de minimizar la cantidad de retorno de los gases de combustión.
- Para el diseño y construcción del dosificador de biomasa forestal se siguió las especificaciones técnicas propuestas por la Norma CEMA además de considerar los requerimientos de biomasa forestal, concluyendo que: se requiere de una tolva de forma cónica considerando el funcionamiento y el espacio que puede quedar entre briquetas o cubos de biomasa; el tornillo sin fin está conformado por un eje macizo y aspas fabricadas de acero A36 con el paso suficiente para evitar el atascamiento de la biomasa forestal. El dosificador consta además de chumaceras de pared, y un acople flexible que adaptado a un motoreductor de 1HP con su respectivo variador de frecuencia permite regular la velocidad de giro, controlando la cantidad de biomasa requerida.
- Se construyó un dosificador de biomasa forestal que alimente de forma continua, automática y rápida al gasificador tipo Downdraft, cumpliendo con las necesidades descritas por el usuario las cuales fueron identificadas a través de la metodología de diseño conocida como la “Casa de la Calidad”.
- Tras la ejecución de pruebas de funcionamiento se determinó que con el uso del dosificador se disminuye el tiempo de interacción humana en la alimentación de materia prima al realizar una sola recarga para todo el proceso de gasificación, además

de establecerse que la masa de gas aumenta en un 3.21% y por ende se incrementa la eficiencia del gasificador en un 6,09 %.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda un cambio de infraestructura de acceso al gasificador, ya que la misma fue construida en madera en el año 2011 la cual se encuentra deteriorada principalmente por las condiciones climáticas presentes al encontrarse en el exterior, complicando el acceso y manipulación del gasificador.
- Se recomienda realizar un estudio para implementar un sistema de encendido automático, evitando así realizar pruebas con el uso de carbón vegetal, garantizando el sellado hermético de las compuertas laterales, las cuales solo se abrirían para el proceso de limpieza.
- Para el mantenimiento óptimo del dosificador se recomienda el desmontaje, limpieza y lubricación semestral de todos sus componentes.
- Para evitar el desalineamiento del motoreductor, se recomienda el anclaje definitivo del mismo, teniendo que ser retirado únicamente para su mantenimiento.
- Se sugiere que la biomasa utilizada contenga una humedad entre 15 y 25% en base seca para mejorar la calidad de gas producido.
- Las briquetas deben tener una altura promedio de 8cm sin superar los 10 cm ya que podrían producir atrancamiento en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

**A, Golenko.** *Fundamentos de diseño de máquinas.* 2010, pp.32,39,43.

**ADAMS, K.** *Metodologías de diseño .* 2015. pp.57-63.

**ALBAN, M.** *Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la construcción y automatización de un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente de 10 kw de potencia.* Sangolquí : escuela politécnica del ejército, 2012, pp112-115.

**ALEGSA.** *Sistema.* [En línea] [Citado el: 21 de 1 de 2015.] Disponible en: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php>.

**ALIBABA.** *24V dc electric gear motor supplier.* [En línea] [Citado el: 3 de 2 de 2015.] Disponible en: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/ds-95ss555-95mm-12v-24v-dc-electric-gear-motor-supplier-1936283822.html>.

**JAÉN, René, Recio, Ángel y Preston, Toma; et al.** *Análisis Termodinámico ANKUR.* 2, Colombia : Tecnología Lumínica, 2010, Vol. 7. pp.28,35,78.

**ANSI B16.5.** *Tipos de Juntas.* [En línea] 4 de 9 de 2010. [Citado el: 8 de 05 de 2016.]

**APRENDERPLC.** *Blogspot.* [En línea] 2011. [Citado el: 22 de 1 de 2015.] Disponible en: <http://aprendeplc.blogspot.com/2011/03/partes-de-un-plc.html>.

**ASME.** [En línea] 14 de 8 de 2013. [Citado el: 19 de 05 de 2016.] Disponible en: <http://www.futura.com.ar/libreria/Tabla%20de%20bridas%20y%20esparragos%20-%20pdf.pdf>.

**AUTOMATICA.** *Automatizacion y Robotica Educativa.* [En línea] 2014. [Citado el: 21 de 11 de 2014.] Disponible en: <http://automatica.mex.tl/frameset.php?url=/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C...pdf>.

**AVILA, V.** *Gasificacion de biomasa.* 2016; pp.45-52.

**BANDASCORTES.** *Familias.* [En línea] [Citado el: 15 de 1 de 2015.] Disponible en: <http://www.bandascortes.com/familias.php?codF=5&codP=8>.

**BARCELÓ, A.** *Diseño en Ingeniería Mecánica. Diseño Mecánico.* [En línea] 3 de 12 de 2011. [Citado el: 20 de 01 de 2017.] Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-diseno-ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-introduccion>.

**BASTIENNE S; et al.** *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal.* Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2000; pp.78-86.

**BASTIENNE, S; et al.** *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS MUESTREOS DE BIOMASA FORESTAL.* Valdivia : Universidad Austral De Chile, 2000; pp.26-35.

- BASU, P.** *Biomass gasification practical design and theory*. San diego: ELSEVIER INC., 2013; pp.25,32,40.
- BAYLEY, D.** *Practical Scada for Industrial*. Amsterdam: ELSEVIER, 2003; pp.78-80.
- BEHERA, R. K.** *Recent Trends in Mechanical Engineering*. 2010; pp.20,23,28.
- BEHERA, R.** *Recent trends in mechanical engineer*. 2010; pp.22,37,41
- BIASCA, R. F.** *Movimiento y almacenamiento de materiales*. 2010; pp.76-84.
- BLACKENNEW.** *Transport Modeling Helical (worm) in EDEM*. YOUTUBE, 2015; pp.104-126.
- BRAUSA, M.** Disponible en: <http://www.brausa.es/es/materiales>. [En línea] <http://www.brausa.es/es/materiales>.
- CARRILLO, A.** *Diseño y simulación de una planta dosificadora automática de suplemento nutricional para ganado lechero*. Quito : ESPN, 2015; pp.98-103.
- CERDÁ, E.** *Energía obtenida a partir de biomasa*. 2012. pp.25,47,50.
- CONVEYOR, S.** *Screw conveyor catalog and engineering manual*. HAMMOND : s.n., 2010; pp.72-145.
- CRICYT.** *Gases de Efecto Invernadero*. [En línea] 3 de 12 de 2014. [Citado el: 12 de 04 de 2017.] Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/GasesEfect.htm>.
- DANIELA, Aulestia; et al.** *DISEÑO DE UN GASIFICADOR DE BIOMASA POR PIROLISIS*. Sangolquí : ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2012; pp.66-84.
- E., Garcia.** *Diseño y construcción de sistemas de dosificación*. 2016. pp.31-69.
- EBEL.F.** Fundamentos de la tecnica de automatizacion. [En línea] [Citado el: 25 de 3 de 2015.] Disponible en: [http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/nwt/fb/atechnik/grundlagen/es/kapitel/563062\\_Fundamentos\\_de\\_la\\_tecnica\\_de\\_automatizacion.pdf](http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/nwt/fb/atechnik/grundlagen/es/kapitel/563062_Fundamentos_de_la_tecnica_de_automatizacion.pdf).
- ENDESA. S.A.** Endesa Educa. *Producción de Electricidad*. [En línea] 7 de 5 de 2010. [Citado el: 20 de 01 de 2017.] Disponible en: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa).
- REN 21.** *Energías Renovables 2016*. España : reegle, Vol. 3. 2016; pp.25,29,37.
- FESTO.** *Estacion de Prensa con Musculo Neumatico: Gran fuerza*. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de 4 de 2015.] Disponible en: <http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/estaciones/estacion-de-prensa-con>

musculo-neumatico-gran-  
fuerza.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjYwNi40MzYy.

**FRANCO, Luis; et al.** *Desarrollo de un Sistema de Dosificación Automático de Alimento para Equinos*. México DF : s.n., 2010; pp.45,49,51-53.

**FU-UNLP.** *ApuntePLC*. [En línea] [Citado el: 10 de 4 de 2015.] Disponible en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf>.

**García, J.** *Diseño Mecánico. Fundamentos del Diseño Mecánico*. Colombia : Universidad del valle, 2004; pp.73-89.

**GARLOCK.** *Sealling Technologies*. [En línea] GYLON Products, 11 de 12 de 2009. [Citado el: 26 de 05 de 2016.] Disponible en: [www.garlock.com](http://www.garlock.com).

**GEOGRAPHIC, National.** *Descubriendo Nat Geo. ¿Qué es el Calentamiento Global?* [En línea] Nat Geo, 05 de 09 de 2010. [Citado el: 1 de 8 de 2017.] Disponible en: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/09/por-que-esta-temporada-de-huracanes-esta-siendo-tan-catastrofica>.

**GOLENKO, A.** Biblioteka Cyfrowa. *Fundamentals of Machine Design*. [En línea] 22 de 04 de 2010. [Citado el: 20 de 01 de 2017.] Disponible en: [http://www.dbc.wroc.pl/Content/7154/Golenko\\_Fundamentals%20of%20Machine%20Design.pdf](http://www.dbc.wroc.pl/Content/7154/Golenko_Fundamentals%20of%20Machine%20Design.pdf).

**GOLENKO, A.** *FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS*. 2010; pp.23-33.

**FESTO.** [En línea] 2013 Disponible en: <http://www.festo-didactic.com>.

**ICOGEN.** [En línea] 2015. Disponible en: <http://icogen-sa.com/energ%C3%ADas-renovables-separador/cogeneraci%C3%B3n-por-gasificaci%C3%B3n-de-madera.html>.

**IDAE.** *Biomasa Gasificación*. Madrid : IDAE, 2007; pp.64,68,70.

**INDUSTRIAS SANFOR.** *Catalog airtac*. [En línea] [Citado el: 10 de 2 de 2015.] Disponible en: <http://industriassanfor.com/pdf/catalogo-airtac.pdf>.

**INEEER.** *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Biomasa*. [En línea] Ministerio de Ambiente, 12 de 4 de 2015. [Citado el: 12 de 8 de 2017.] Disponible en: <http://www.iner.gob.ec/biomasa/>.

**INFO AGRO.** *Control Riego y Fertilizacion*. [En línea] [Citado el: 15 de 3 de 2015.] Disponible en: [http://www.infoagro.com/riegos/control\\_riego\\_y\\_fertilizacion.htm](http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm).

**LEAL.** *Fundamentos de ingeniería de control*. [En línea] 2014. [Citado el: 20 de 11 de 2014.] Disponible en: <http://es.slideshare.net/gerardoalbertoleal/unidad-1-fundamentos-de-ingeniera-de-control>.

**LENNTECH.** *Combustibles Fósiles.* [En línea] LENNTECH, 05 de 01 de 2017. [Citado el: 12 de 7 de 2017.] <https://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>. 1.

**LINDIS.** *Bandas Transportadoras Termoestables.* [En línea] [Citado el: 10 de 1 de 2015.] Disponible en: <http://www.lindis.com/pdf/Bandas-Transportadoras-Termosoldables-ESP.pdf>.

**MADRUGA, R.** *Cubasolar.* [En línea] 2012. [Citado el: 09 de 10 de 2016.] Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar20/HTML/articulo01.htm>.

**MONDRAGÓN, K.** *Fibras sintéticas y especiales. Fibras sintéticas I.* s.l. : Instituto Politécnico Nacional., 2013; pp.160,165-174.

**MORALES, E.** *Diseño y construcción de un dosificador y empacador de producto alimenticio molido y seco de 50 gr.* Latacunga : ESPE, 2010; pp.34-40.

**MOTOREDUCTORES ROSSI.** *Reductores y motoreductores de ejes paralelos y ortogonales.* 2010; pp.12,15,22,27.

**MS, Open.** *Generador de electricidad a partir de biomasa.* s.l. : Planta BPP4 Power, 2016; pp.31-43.

**MUSCULO.** *Musculo nuematico DMPS/MAS. Musculo nuematico DMPS/MAS.* [En línea] [Citado el: 25 de 1 de 2015.] Disponible en: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ES/PDF/ES/DMSP-MAS\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/DMSP-MAS_ES.PDF).

**OGATA, K.** *Ingenieria de control moderna.* s.l. : Prentice Hall Inc., 2000; pp. 10-13-22-73.

**OROZCO, Edison; et al.** *Diseño y montaje de un sistema dosificador para galletas tipo Cracker fermentadas.* Pereira : Universida Tecnológica de Pereira, 2016; pp.45,48,53.

**OSIPNA, John; et al.** *Diseño y Construcción de un prototipo de un Dosificador de Alimento concentrado para Cerdos.* Pereira : s.n., 2013; pp.45-69.

**PUENTE, J.** *Diseño de un transportador de carga.* 2000; pp.57-78.

**RENOLD.** *Guia para seleccion de acolplamientos.* 2010; pp.39,47,54,56.

**RIVERA, C.** *Diseño y construcción de un dosificador de tres productos en forma secuencial.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2002; pp.27-39.

**ROBLES, G.** *Energía Renovable. Biomasa.* [En línea] Calefacción gerardorobles, 8 de 4 de 2016. [Citado el: 20 de 1 de 2017.] Disponible en: <http://www.gerardorobles.es/calefaccion/biomasa/>.

**RODRIGUEZ, A. M.** *Simulacion mediante el metodo de elementos finitos de una estructura metalica.* Madrid : s.n., 2010; pp.63-70.

**SÁNCHEZ, R.** *Diseño de Máquinas*. [En línea] 15 de 07 de 2009. [Citado el: 20 de 01 de 2017.] Disponible en: <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/disenodemaquinas/carpetadeapuntesdedisenodemaquinas/Tema%201%20Conceptos%20fundamentales.pdf>.

**SANZ, Rodrigo; et al.** *Avances Técnicos Cenicafé*. Bogotá : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Instalación de Separador Hidráulico. 2014; pp.22,26,29,33.

**SCMPNEUMATICS. VY.** [En línea] [Citado el: 2 de 11 de 2014.] Disponible en: <http://www.scmpneumatics.com/pdfs/VY.pdf>.

**SCREW CONVEYOR.** Transportadores de sólidos [En línea] 2010. Disponible en: [http://www.screwconveyor.com/assets/1/7/Engineering\\_Catalog\\_1-2010.pdf](http://www.screwconveyor.com/assets/1/7/Engineering_Catalog_1-2010.pdf).

**STANDARS WORLDWIDE.** *ASTM International*. USA : ASTM Org, 2011; pp.89-72.

**TECNIDOS: Sistemas y Procesos.** Transportadores de Sólidos. *Transportadores de Sólidos*. [En línea] TECNIDOS, 8 de 10 de 2014. [Citado el: 7 de 8 de 2017.] Disponible en: <http://tecnidos.com/index.php/productos/dosificacion-de-solidos/transportadores-de-solidos-2/>.

**TIERRA, L. F.** *Desarrollo de un proceso para obtencion de briquetas de aserrin y pruebas de producion de gas pobre*. RIOBAMBA : s.n., 2011; pp.45-47,50-64,76-88.

**LEIRE, G.** *Calor y Frio. Tipos de combustibles para calderas de Biomasa.*, s.l. : Comité Europeo de normalizacion (CEN), Vol. 1. 2015; pp.33,39,45,49.

**LEIRE, G.** *Calor y Frio. Tipos de combustibles para calderas de biomasa.* 1, s.l. : Comité Europeo de Normalización (CEN), 09 de Septiembre de 2015, Vol. 1. pp.33,39,45,49.

**TORRES, E. M.** *Diseño y construccion del sistema de dosificacion*. [aut. Libro] torres garcia. *Diseño y construccion del sistema de dosificacion para materiales almacenados en silos*. QUITO: 2014; pp.21-45.

**TORRES, E. M.** *diseño y construccion de un prototipo con sistema scada con dosificacion*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, 2012; pp.62-78.

**TORRES, E. M.** *Diseño y construccion de un prototipo con sistema scada aplicado al control del micro clima y dosificación del producto de almacenamiento de solidos*. QUITO: Universidad Politécnica Salesiana, 2012; pp.10,22,39,45,78-79.

**UFC.** *Chumaceras*. [En línea] XRT, 12 de 07 de 2008. [Citado el: 02 de 06 de 2017.]

**VEIGA, J. C.** *Juntas Industriales*. [En línea] Teadit, 12 de 04 de 2011. [Citado el: 14 de 03 de 2016.] [www.teadit.com](http://www.teadit.com).

## ANEXOS

## PLANOS

