



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: PABLO ROLANDO SALAZAR MARTÍNEZ  
ANDRÉS MAURICIO VILLACRÉS CARRERA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO  
EXTRUSORA EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE  
MULTI COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA, CON  
CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN DE 0.2 KG.**

**DIRECTOR: ING. NARANJO CARLOS  
CODIRECTOR: ING. OCAÑA EDWIN**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO 2014**

## CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA, CON CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN DE 0.2 KG.”** realizado por PABLO ROLANDO SALAZAR MARTÍNEZ Y ANDRÉS MAURICIO VILLACRÉS CARRERA, fue realizado en su totalidad por los señores Pablo Rolando Salazar Martínez y Andrés Mauricio Villacrés Carrera, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniería Mecánica.

---

Ing. Carlos Naranjo

DIRECTOR

---

Ing. Edwin Ocaña

CODIRECTOR

Sangolquí, 20 de Agosto del 2014

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

NOSOTROS: PABLO ROLANDO SALAZAR MARTÍNEZ  
ANDRÉS MAURICIO VILLACRÉS CARRERA

### **DECLARAMOS QUE:**

La tesis/proyecto de grado titulado “DISEÑO CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA, CON CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN DE 0.2 KG”, fue desarrollado con base a una investigación exhaustiva y detallada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 20 de Agosto del 2014

---

Pablo Rolando Salazar Martínez  
C.I: 060336564-4

---

Andrés Mauricio Villacrés Carrera  
C I: 171454854-0

## AUTORIZACIÓN

NOSOTROS: PABLO ROLANDO SALAZAR MARTÍNEZ  
ANDRÉS MAURICIO VILLACRÉS CARRERA

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: "DISEÑO CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA, CON CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN DE 0.2 KG" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 20 Agosto del 2014

---

Pablo Rolando Salazar Martínez  
C.I: 060336564-4

---

Andrés Mauricio Villacrés Carrera  
C I: 171454854-0

## DEDICATORIA

Parte de la vida del ser humano es cumplir con sus metas propuestas, y culminar esta tesis es una de ellas.

Quiero dedicar este trabajo a mi Madre MARÍA ELENA MARTÍNEZ por ser paciente y apoyarme a través del tiempo que duró la culminación de mis estudios y de este trabajo, no fue fácil pero he puesto todo mi empeño para finalizarlo. A mi novia RUTH R. ROSAS R., por ser mi apoyo incondicional y estar a mi lado sin importar las adversidades que he tenido que atravesar en la realización de este proyecto. Gracias por confiar y tener Fe en mí.

Pablo R. Salazar M.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) por haberme acogido en sus aulas, a todos mis maestros que todos estos años de una manera desprendida me brindaron todos sus conocimientos para que yo pueda ser un excelente profesional.

A todos mi familia, amigos y colegas.... MUCHAS GRACIAS

Pablo R. Salazar M.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	II
AUTORIZACIÓN .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
INDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	XV
LISTA DE ANEXOS .....	XVI
RESUMEN .....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 GENERAL .....	2
1.3.2 ESPECÍFICOS .....	2
1.4 ALCANCE .....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	3
CAPÍTULO 2 .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 BIOMASA .....	5
2.1.1 BIOMASA EN EL ECUADOR .....	6
2.1.2 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS .....	11

2.1.2.1 BIOMASA NATURAL.....	11
2.1.2.2 BIOMASA RESIDUAL (SECA Y HÚMEDA).....	11
2.1.2.3 CULTIVOS ENERGÉTICOS.....	12
2.1.3 BIOCOMBUSTIBLES.....	12
2.1.3.1 BIODIESEL.....	14
2.1.3.2 BIOETANOL .....	15
2.1.3.3 BIOCOMBUSTIBLES EN EL ECUADOR.....	17
2.2 ASPECTO TECNOLÓGICOS .....	20
2.3 PRINCIPIOS DEL INTENSIFICADOR .....	21
2.4 ANÁLISIS DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA Y ALTA TEMPERATURA .....	22
2.4.1 SUPOSICIONES BÁSICAS PARA UN CILINDRO DE PARED..... GRUESA.....	22
2.5 MECANISMOS DE TRASMISIÓN DE POTENCIA .....	23
2.5.1. TORNILLO DE POTENCIA .....	23
2.6 TRANSFERENCIA DE CALOR EN CILINDROS DE PAREDGRUESA.....	25
2.6.1 EFECTO JOULE .....	25
2.6.2 TRASFERENCIA DE CALOR EN EL CILINDRO.....	25
2.7 MECÁNICA DE LOS FLUIDOS NO NEWTONIANOS. ....	28
2.7.1 DEFINICIÓN DE FLUIDO NO NEWTONIANO.....	28
2.7.2 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS NO..... NEWTONIANOS.....	28
2.7.3 FLUIDOS NO NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO	29
CAPITULO 3.....	31
TECNOLOGÍA PARA OBTENCIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES .....	31
3.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA .....	31
3.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA .....	31



3.3	DIGESTIÓN AEROBIA .....	35
3.4	PIRÓLISIS .....	38
3.4.1	CALIDADES Y RENDIMIENTOS DE LA CARBONIZACIÓN.....	38
3.5	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	40
3.6	CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	43
3.7	ANÁLISIS DE QUEMADORES .....	43
3.8	TIPOS DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	46
	CAPITULO 4.....	48
	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	48
4.1	TIPO DE MÁQUINA.....	48
4.1.1	PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACIÓN. ....	52
4.1.2	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.....	52
4.1.3	MATRIZ DE SELECCIÓN DE TIPOS DE MÁQUINAS .....	53
4.2	MATERIA PRIMA.....	57
4.2.1	CARACTERÍSTICAS DE BIOMASA .....	57
4.2.2	TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO.....	61
4.2.3	FORMA DE OBTENCIÓN .....	62
4.2.4	MATRIZ DE SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	62
	CAPITULO 5.....	65
	DISEÑO DEL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES....	65
5.1	RESUMEN DE VARIABLES .....	65
5.2	RESUMEN DE FORMULAS.....	71
5.3	SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	77
5.3.1	DIMENSIONES.....	77
5.3.2	ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE MASA SECA Y CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA .....	77
5.3.3	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN FUNCIÓN DE DIMENSIONES INTERIORES DEL CILINDRO	

PRINCIPAL	
(U <sub>i</sub> ).....	78
5.3.5 CÁLCULO DEL CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO TRANSFERIDO HACIA EL EXTERIOR DEL SISTEMA (Q <sub>o_punto</sub> ) Y HACIA EL INTERIOR DEL SISTEMA (Q <sub>i_punto</sub> ).....	85
5.3.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA NOMINAL, RESISTENCIA E INTENSIDAD DE CORRIENTE DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA (VER PLANOS CÓDIGO: MQEX_03 - 2011, MQEX_04 - 2011 y MQEX_06 - 2011).....	86
5.4 INTENSIFICADOR O GENERADOR DE ALTA PRESIÓN.....	89
5.5 SISTEMA DE EXTRUSIÓN.....	96
5.6 RECOLECTOR DE COMBUSTIBLES (SÓLIDO, LÍQUIDO Y GAS).....	98
5.6.1 RECOLECTOR DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO.....	98
5.6.2 RECOLECTOR DEL COMBUSTIBLE LÍQUIDO Y GASEO (VER PLANO MQEX_10 – 2011 y MQEX_GENERAL – 2011).....	98
5.7 SOPORTE ESTRUCTURAL (BASTIDOR).....	101
5.8 COMPROBACIÓN DE RECORRIDO DE EMBOLO.....	102
CAPÍTULO 6.....	105
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	105
6.1 DIAGRAMAS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE.....	105
6.2 CILINDRO DE CARGA.....	113
6.3 INTENSIFICADOR.....	114
6.3.1 MECANISMO DE APLASTAMIENTO.....	117
6.4 BASTIDOR.....	118
6.5 GENERADOR TÉRMICO Y COLECTOR DE FLUIDOS.....	125
CAPITULO 7.....	132
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	132
7.1 PARÁMETROS DE VERIFICACIÓN.....	132
7.2 FORMATO DE PRUEBAS.....	132

7.3 VARIABLES A SER MEDIDAS .....	135
7.4 PRUEBA EN BOMBA CALORIMÉTRICA PARA COMBUSTIBLE SÓLIDO Y LÍQUIDO .....	142
7.5 HUMEDAD INICIAL Y FINAL DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO .....	144
7.6 VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE LÍQUIDO.....	145
7.7 PRUEBAS EN CROMATOGRAFO DE GASES.....	146
7.8 BALANCE ENERGÉTICO DESPUÉS DE LOS RESULTADOS .....	147
7.9 BALANCE ECONÓMICO.....	149
7.10 CRITERIOS DE SEGURIDAD .....	151
CAPÍTULO 8.....	158
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	158
8.1 ANÁLISIS FINANCIERO.....	158
8.1.1. COSTOS INDIRECTOS.....	158
8.1.2. COSTOS DIRECTOS .....	159
8.1.3. TOTAL DE COSTOS.....	163
CAPÍTULO 9.....	164
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	164
9.1 CONCLUSIONES .....	164
9.2 RECOMENDACIONES .....	166
BIBLIOGRAFÍA.....	167
ANEXOS.....	169

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 .....	6
Tabla 2 .....	14
Tabla 3 .....	32
Tabla 4 .....	32
Tabla 5 .....	40
Tabla 6 .....	42
Tabla 7 .....	53
Tabla 8 .....	54
Tabla 9 .....	58
Tabla 10 .....	59
Tabla 11 .....	60
Tabla 12 .....	61
Tabla 13 .....	61
Tabla 14 .....	62
Tabla 15 .....	63
Tabla 16 .....	65
Tabla 17 .....	82
Tabla 18 .....	90
Tabla 19 .....	91
Tabla 20 .....	94
Tabla 22 .....	109
Tabla 23 .....	110
Tabla 24 .....	111
Tabla 25 .....	112
Tabla 26 .....	120
Tabla 27 .....	120
Tabla 28 .....	121
Tabla 29 .....	138
Tabla 30 .....	140
Tabla 31 .....	142
Tabla 32 .....	144

Tabla 33.....	146
Tabla 34.....	150
Tabla 35.....	152
Tabla 36.....	153
Tabla 37.....	154
Tabla 38.....	155
Tabla 39.....	156
Tabla 40.....	157
Tabla 41.....	158
Tabla 42.....	158
Tabla 43.....	159
Tabla 44.....	159
Tabla 45.....	160
Tabla 46.....	161
Tabla 47.....	162
Tabla 48.....	162
Tabla 49.....	163
Tabla 50.....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Superficie y Producción de caña de azúcar en el Ecuador.....	7
Figura 2 Porcentaje de superficie total sembrada de biomasa Ecuador en el 2012 .....	7
Figura 3 Superficie y Producción de Palma Africana en el Ecuador .....	8
Figura 4 Mapa de cobertura del suelo en Ecuador .....	11
Figura 5 Técnicas de producción de combustibles líquidos, a partir de biomasa. ....	13
Figura 6 Reacción de transesterificación. ....	15
Figura 7 Cero combustibles fósiles, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (GALÁPAGOS).....	20
Figura 8 Intensificador de presión.....	21
Figura 9 Cilindro de pared gruesa sometido a presión interna. ....	23
Figura 10 Tornillo – Nomenclatura.....	24
Figura 11 Cilindro hueco con condiciones convectivas en la superficie.....	26
Figura 12 Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica compuesta.....	27
Figura 13 Clasificación de los fluidos según la relación $\tau = f(\dot{\gamma})$ .....	29
Figura 14 Pirólisis (0 Bar). ....	39
Figura 15 Pirólisis (10 Bar).....	39
Figura 16 Estufa de leña domestica.....	44
Figura 17 Caldero para madera y agua ardiente. ....	45
Figura 18 Pellets de madera extruidos .....	45
Figura 19 Cámara de combustión mezclada por turbulencia a través de una turbina de flujo paralelo.....	47
Figura 20 Extrusora semiautomática de pistón PF-33 .....	49
Figura 21 Extrusora con pistón horizontal marca SCAMEX.....	50
Figura 22 LOOMIS – Extrusoras de plástico horizontales con accionamiento hidráulico. ....	51
Figura 23 Esquema general de la Micro Extrusora.....	57
Figura 24 Esquema del sistema de calentamiento. ....	77
Figura 25 Esquema de analogía eléctrica.....	81

Figura 26 Esquema del sistema del cilindro principal. ....	86
Figura 27 Esquema del sistema del embolo. ....	87
Figura 28 Esquema de la tapa del cilindro principal.....	87
Figura 29 Variación de la resistencia a la tracción en función de la temperatura de trabajo del acero ASTM A-106 A Gr. A .....	90
Figura 30 Esquema de Tanque Recolector de gases. ....	99
Figura 31 Cuadro de diálogo de selección de tolerancia con AutoCAD Mechanical 2013 .....	107
Figura 32 Imagen de SAP 2000 de análisis FEA del bastidor. ....	123
Figura 33 Máquina completa.....	129
Figura 34 Máquina completa.....	130
Figura 35 Esquema de las variables a ser controladas .....	136

**ÍNDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1 Proceso de fabricación del Cilindro de Carga .....	113
Diagrama 2 Proceso de fabricación del Intensificador .....	114
Diagrama 3 Proceso de fabricación del Intensificador (Continuación).....	115
Diagrama 4 Proceso de fabricación del Intensificador (Continuación).....	116
Diagrama 5 Proceso de fabricación del Mecanismo de aplastamiento.....	117
Diagrama 6 Proceso de fabricación del Bastidor .....	118
Diagrama 7 Proceso de fabricación del Bastidor (Continuación).....	119
Diagrama 8 Proceso de fabricación de Generador Térmico y Colector de Fluidos.....	125
Diagrama 9 Ensamble de la máquina .....	126
Diagrama 10 Proceso de ensamble de la máquina .....	131
Diagrama 11 Análisis de los resultados .....	141



## LISTA DE ANEXOS

- A. Catálogo de datos técnicos fibra SUPERMAG 1200
- B. Reporte de laboratorio de termodinámica - ESPE: poder calorífico superior del combustible sólido y líquido de palma africana.
- C. Reporte de laboratorio de fluidos e hidráulica- ESPE: viscosidad de aceite de palma africana.
- D. Informe de Ensayo :
  - Porcentaje de humedad y ceniza - palma africana.
- E. Reporte de laboratorio de termodinámica – EPN (Escuela Politécnica Nacional):
  - Caracterización de gas de palma africana.
  - Poder calorífico superior del gas de palma africana.
- F. Catálogo de datos técnicos acero ASTM A106 Gr. A.
- G. Diagrama Eléctrico de control del panel de la micro extrusora experimental
- H. Fotografías de construcción de la máquina.
- I. Planos definitivos de la micro extrusora experimental.
- J. Informe de ensayo:
  - Pesos de 4 muestras de palma africana
  - Peso de 2 recipientes para contener combustibles procesados
  - Peso del tanque recolector del gas
- K. Registro De Pruebas Micro-Extrusora Experimental

## RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación resume el proceso de diseño y construcción de una micro extrusora experimental para la obtención de multi combustibles a partir de biomasa, con capacidad de compactación de 0.2 kg. Se realizó una selección de un mecanismo adecuado para compactar biomasa y obtener múltiples combustibles, además se seleccionó la biomasa adecuada para el proceso de conversión del estado sólido en tres tipos de combustibles. La máquina que obtiene los diferentes biocombustibles realiza pirolisis y aprovecha el principio de intensificador de presión, la energía mecánica para la extrusión de biomasa será producida por un pistón, y para mejorar velocidad de salida del líquido se suministrara energía térmica por medio de resistencias eléctricas, generalmente en un proceso de compresión de biomasa es necesaria la alta presión (desde 30 bar) y alta temperatura (desde los 280°C). Cuando se alcanza parámetros óptimos de operación se obtiene combustible sólido, gas dentro de un recipiente y líquido recolectado del proceso. El tiempo adecuado para alcanzar una presión de 21 bar es alrededor de 1 hora y 10 minutos, tiempos menores de extrusión a 35 minutos por ejemplo producen falta de condiciones para que se produzca pirolisis de biomasa, tiempos mayores de extrusión con elevación de temperatura a 70 minutos producen carbonización de la materia prima. De los resultados obtenidos con la máquina micro extrusora experimental, se puede concluir que el material preparado en esta investigación, puede utilizarse para la obtención de multi combustibles a través de un proceso mecánico de compactación para producir pirolisis.

**PALABRAS CLAVES: MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL, MULTICOMBUSTIBLES, BIOMASA, PIRÓLISIS, PALMA AFRICANA**

## ABSTRACT

This paper summarizes the process of design and construction of an experimental micro extruder to obtain multi fuels from biomass, with a capacity of 0.2 kg compaction. A selection of an appropriate biomass to compact and obtain multiple fuels performed mechanism also suitable biomass for the conversion process of the solid state in three types of fuel is selected. The machine gets different biofuels takes pyrolysis and uses the principle of pressure intensifier, the mechanics for the extrusion of biomass energy will be produced by a piston, and improve output speed of the fluid thermal energy will supply via resistors, usually in a compression process of biomass high pressure (from 30 bar) and high temperature is required (from the 280 °C). When optimum operating parameters is achieved solid fuel gas is obtained within a container and process liquid collected. The appropriate time to achieve a pressure of 21 bar is about 1 hour and 10 minutes, shorter extrusion for example 35 minutes produced lack of conditions for pyrolysis of biomass, longer occur extrusion temperature rising to 70 minutes cause carbonization of the raw material. From the results obtained with the experimental micro extruder machine, it can be concluded that the material prepared in this study, can be used for multi fuel production through mechanical compaction process to produce pyrolysis.

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

En todas las actividades de los seres vivos, interviene la energía, de hecho, es el motor inevitable de esas actividades. La utilización desproporcionada de las energías convencionales proveniente de los combustibles fósiles (Carbón, Petróleo, Gas Natural) que fueron producidos por seres vivos durante cientos de millones de años, están siendo consumidos en un intervalo de tiempo demasiado corto.

Introduciendo en la atmósfera grandes cantidades de gases nocivos el efecto más preocupante es el calentamiento progresivo del planeta, debido a la acción de los gases de efecto invernadero (Vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y los Clorofluorocarbonos(CFC).

Este efecto térmico global, ha dado lugar a graves desequilibrios en el planeta: cambio climático, desertización, inundaciones, desaparición de biodiversidad, deshielos entre otros.

Tiene solución esta situación, aunque es difícil si la hay.

Se debe aprovechar los recursos energéticos de manera racional e inteligente, producir las energías intermedias, sean estas (Biológicas, químicas, eléctricas, térmicas) en forma eficiente y con menor impacto ambiental. Reducir paulatinamente el uso de combustibles fósiles y sustituirlas por energías renovables.

#### **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En los últimos años se ha visto la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía, debido a que las actuales producen altos niveles de contaminación refiriéndose a las procedentes del petróleo. La biomasa es una fuente de biocombustibles, esta propiedad es la que se quiere aprovechar y

explotar con este proyecto, al desarrollar un proceso mecánico para obtener multi combustibles.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

Diseñar y construir una micro extrusora experimental para la obtención de multi combustibles a partir de biomasa, con capacidad de compactación de 0.2 kg.

#### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la biomasa residual adecuada para el proceso de conversión del estado sólido en tres tipos de combustibles.
- Realizar el análisis dimensional de carga y esfuerzo de los elementos de la micro extrusora.
- Diseñar y construir el sistema de compactación de biomasa.
- Realizar las pruebas de obtención de multi combustibles.

### **1.4 ALCANCE**

Disponer un modelo experimental para la obtención de multi combustibles utilizando biomasa, mediante su compactación a elevadas presiones y temperaturas, donde se pueden medir determinadas características que viabilicen este procedimiento para aplicaciones de mayor escala con proyección a la industria y la comunidad.

La cuantificación de los valores de rangos de presiones y temperatura estarán aproximadamente entre:

Rango de temperatura:  $T = 200 \sim 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Rango de Presión:  $P = 20 \sim 30 \text{ bar}$

Para determinar las características de los biocombustibles se realizarán las pruebas necesarias para obtener los siguientes parámetros: Poder calórico Inferior (PCI), Poder calórico superior (PCS), humedad, cantidad de ceniza.

Diseñar y construir de una micro extrusora experimental con capacidad de compactación de 0,2 Kg por carga.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La biomasa es un término utilizado para describir la materia prima orgánica no fosilizada originada de un proceso biológico, este será utilizado como fuente de energía, materia que contiene un potencial recurso para la producción de biocombustibles una vez procesado, la cual ofrece energía útil para obtener calor y electricidad. La Energía de la biomasa, es un valor agregado para la agricultura y zonas forestales, porque se puede generar biocombustibles de tipo sólido, líquido y gaseoso.

La auténtica calidad de vida, nace del contacto armónico entre el hombre y la naturaleza, el respeto al entorno, el cuidado extremo de la calidad medioambiental. La solución es compleja, no se puede prescindir en el mediano y largo plazo, de todo el sistema energético actual, pero hay que caminar hacia un esquema más saludable, empleando al máximo fuentes de energías renovables, no contaminantes produciendo y utilizando en forma eficaz, los procesos de conversión de energía aplicando técnicas de cogeneración que además disminuyan el impacto ambiental.

Las energías renovables, son una alternativa, pero bien por si mismas o mediante sistemas mixtos con las energías convencionales pueden contribuir de manera adecuada a la solución del problema energético y ambiental. Desgraciadamente, es muy posible que la presente generación o las posteriores, se asombren de que en nuestra época, no hayamos comprendido la importancia que tiene el buen uso de los bienes que la naturaleza, pone a nuestra disposición en cuanto a las formas de producción de energías se trata.

Por lo tanto es necesario que se tome conciencia colectiva de este gran problema, protejamos el entorno social y natural, mediante el ahorro de los recursos energéticos y propiciemos oportunamente el uso de las energías renovables.

Para el caso del presente proyecto, se pretende desarrollar un proceso para generación de biocombustibles a partir de desechos vegetales que en muchos casos no se les da ninguna utilidad y termina en los botaderos municipales.

Se desarrolla este proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniero Mecánico aplicando los conceptos de Diseño de Máquinas y elementos, matricería, procesos de manufactura y aspectos del uso de la energía aplicando los conocimientos adquiridos en termodinámica y energías no convencionales, de tal manera que empleando todos estos conocimientos se logra diseñar y construir una máquina que tomando como materia prima la biomasa y a través de un proceso tecnológico de extrusión, elevación de temperatura y presión se obtenga biocombustibles.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 BIOMASA

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético. (Manuel Camps Michelena F. F., 2008)

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

En Europa, Francia es el país que mayor cantidad de biomasa consume (más de 9 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) seguido de Suecia. España ocupa el cuarto lugar dentro de esta lista con 3,6 millones de TEP.

La naturaleza convierte incesantemente la energía solar en biomasa con una eficiencia media del 0,1%. Cada año el proceso de la fotosíntesis fija unas  $2 \times 10^{11}$  tm de materia orgánica (equivalentes a unas  $8 \times 10^{10}$  tm de carbono) con un contenido energético de  $3 \times 10^{21}$  J. Otros datos de productividad primaria dan cifras de  $1-1,25 \times 10^{11}$  tm de materia orgánica/año para la fotosíntesis terrestre, y de  $0,44-0,45 \times 10^{11}$  tm de materia orgánica/año en los océanos. La energía de la biomasa almacenada en la superficie de la atotal almacenada con carbón fósil ( $85 \times 10^{11}$  tce) representa sólo unos cien años de fotosíntesis neta ( $84 \times 10^{10}$  tce)



**Tabla 1**  
**Recursos fósiles y producción anual de biomasa en el mundo**

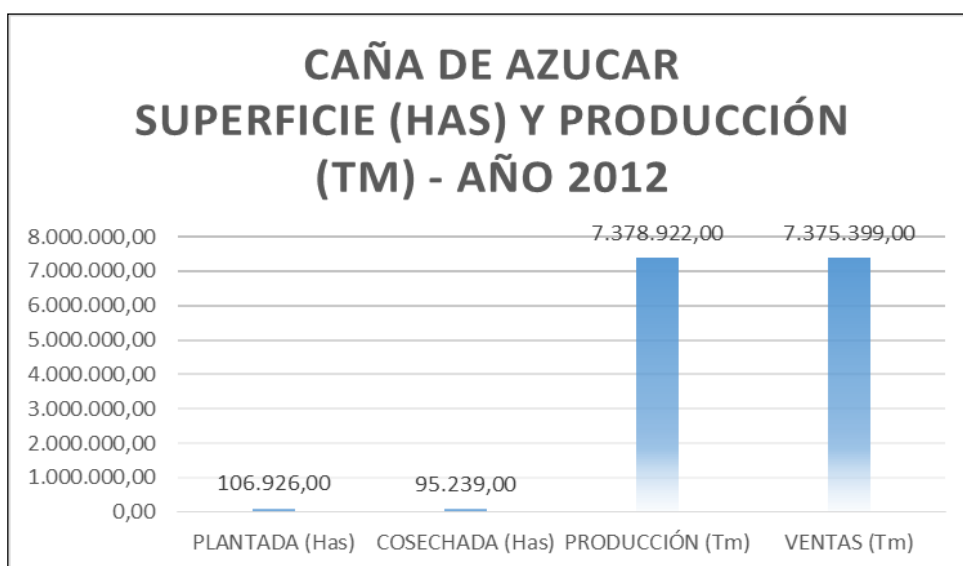
<b>RECURSOS O BIOMASA</b>	<b>ENERGÍA ALMACENADA (tce)</b>
Carbón	$85 \times 10^{11}$
Petróleo	$5 \times 10^{11}$
Gas	$3 \times 10^{11}$
Gas y petróleo no convencionales	<u><math>20 \times 10^{11}</math></u>
<b>TOTAL</b>	$113 \times 10^{11}$
<b>Biomasa:</b>	
Producción primaria neta	$8 \times 10^{10}$
Cultivos terrestres	<u><math>0,4 \times 10^{10}</math></u>
<b>TOTAL</b>	$8,4 \times 10^{10}$

Fuente: Los biocombustibles “energías renovables”, Manuel Camps Michelena, Francisco Marcos Martin 2002. 2da edición 2008, Capitulo 8, Pág. 193.

Las plantas superiores forman la biomasa continental, mientras que la biomasa acuática está constituida en más de un 90% por algas microscópicas (fitoplancton) que se localiza en la zona superficial de los océanos donde los nutrientes minerales son escasos. El 68% de la producción continental de la biomasa es suministrado por bosques, el resto procede de las sabanas y praderas (16%), así como de las tierras cultivadas (8%).

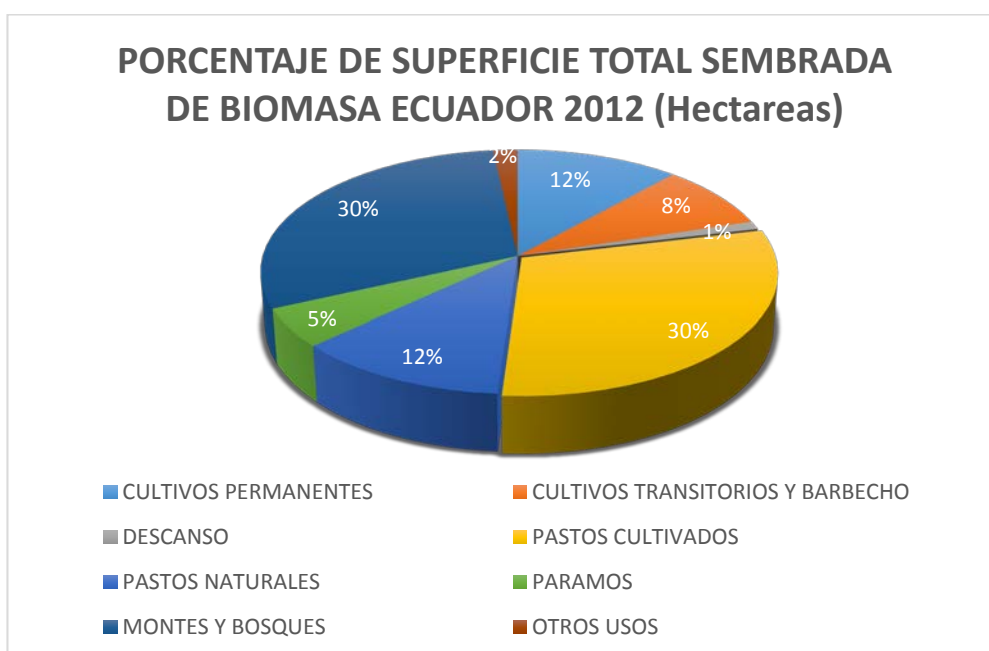
### **2.1.1 BIOMASA EN EL ECUADOR**

Es de destacar que en el Ecuador existe un fuerte crecimiento de la superficie sembrada de caña de azúcar, en el año 2012 las hectáreas (Has.) plantadas de caña de azúcar alcanzaron un valor de 106926 Has, de las cuales se cosecho 95527 Has, la producción y ventas en toneladas métricas (Tm) alcanzaron valores de 7378922 y 7375399 respectivamente. (INEC)



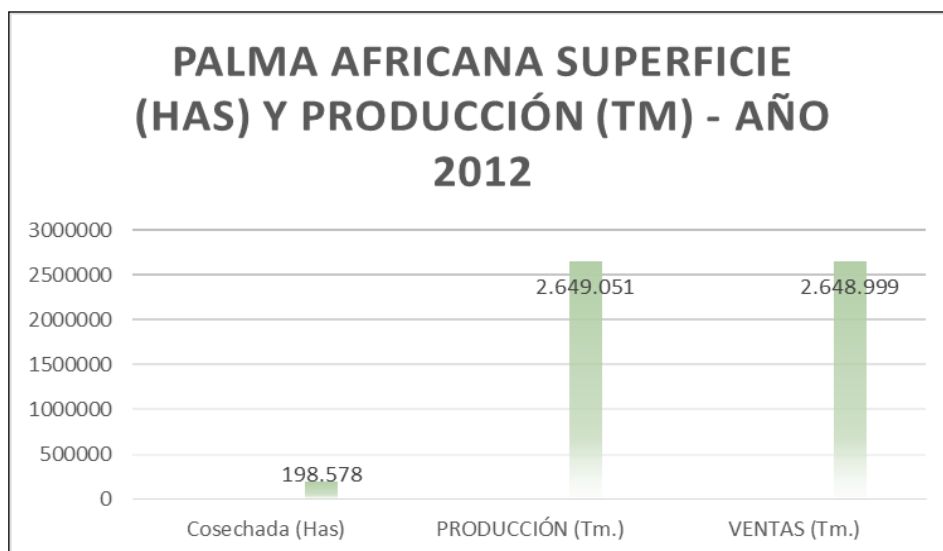
**Figura 1 Superficie y Producción de caña de azúcar en el Ecuador (ESPAC, 2012)**

En 2012, la superficie total de biomasa en hectáreas en el Ecuador se distribuían de la siguiente manera: Cultivos permanentes 1.382.918 has, cultivos transitorios y barbecho 1.020.870 has, descanso 126.981 has, pastos cultivados 3.553.005 has, pastos naturales 1.423.115 has, paramos 608272 has, montes y bosques 3.583.055 has, otros usos 205657 has.



**Figura 2 Porcentaje de superficie total sembrada de biomasa Ecuador en el 2012. (ESPAC, 2012)**

El rendimiento de Palma Africana cosechada en Ecuador en el 2012 fue de 198.578 has, la producción en toneladas métricas 2.649.051 tm y las ventas de 2.648.999 tm.



**Figura 3 Superficie y Producción de Palma Africana en el Ecuador (ESPAC, 2012)**

La palma africana cultivada en el Ecuador es originaria de África occidental fue introducida en el Ecuador en 1952 y su expansión comercial se inició a partir de 1965, en el 2012 la superficie sembrada llegó a 240.333 hectáreas, distribuida entre costa sierra y oriente en zonas de buenas condiciones de cultivo, considerando estas propiedades ambientales estables a una temperatura de 28°C, así se logra el mejor proceso fotosintético respiratorio y de crecimiento.

El fomento de las plantaciones de piñón en la provincia de Manabí forma parte de una amplia estrategia para combatir los procesos de erosión y desertificación que afectan a algunas regiones de la provincia.

Es llamativo que siendo Ecuador un país exportador de petróleo y derivados pesados, además dotado de un enorme potencial hidroeléctrico se vea obligado a importar volúmenes cada vez mayores de combustibles y

electricidad para satisfacer su consumo interno. La dependencia externa creciente para el abastecimiento energético ha ido socavando una de las condiciones básicas para el desarrollo sostenible del Ecuador como es el de la seguridad energética.

La situación sugiere energías alternativas de diversificación energética que son posibles, más si se tienen en cuenta las limitaciones reales de las reservas hidrocarburíferas, cuyo horizonte tiende a reducirse en un futuro no muy lejano no solo falta de inversiones sino por la simple razón de que se trata de recursos agotables. El agotamiento de esa riqueza, si no interviene algún proceso de cambio para gestar nuevas alternativas que permitan cobrar importancia a otras actividades se presenta como un riesgo para la economía y para la sociedad en conjunto.

#### Potencial energético de bosques naturales

Existe en el país 11.473.000 ha de bosque natural, de los cuales el 80% corresponde al tipo Tropical Húmedo, que se ubica en la Amazonía, el 13% en la costa y el 7% en la sierra; del total de bosque natural el 70,3% se considera como bosque productor factible de explotar que alcanza 8,07 millones de hectáreas.

Se considera que el 40% del volumen explotado es utilizado por la industria maderera y el 60% constituye desechos. Por tanto, el potencial explotable de madera sería de 630 millones de metros cúbicos, de los cuales 377 millones de metros cúbicos constituyen el potencial energético de los desechos forestales, equivalente a 68 millones de TEP.

#### Potencial energético de plantaciones forestales

Las plantaciones forestales aportan con aproximadamente el 12% del requerimiento maderero. El volumen total de madera en tales plantaciones alcanza a 11,7 millones de metros cúbicos, de los cuales aproximadamente 4,7 millones serían aprovechados como madera mientras 7 millones de

metros cúbicos, se considera como potencial de desechos que equivale en términos energéticos a 1,2 millones de TEP

#### Potencial energético de residuos vegetales.

En el país se ha evaluado un total de desechos de 2.000.000 t, con un potencial energético de 365.000 TEP como combustión directa, donde el desecho de caña de azúcar aporta el 60%, que ya es utilizado con fines energéticos, el de banano 17% y el de palma africana el 14%.

#### Potencial energético de los desechos sólidos.

El poder calorífico de los desechos sólidos, aprovechados energéticamente por combustión directa, se estima en 0,2 TEP/t.

De acuerdo a datos y estudios recopilados por Fundación Natura, se estima un potencial energético de 261.300 TEP/año, siendo el sector urbano el aporte mayoritario, para una producción anual de 1.300.000 t, para este tipo de desechos se debería analizar con mayor profundidad la posibilidad de generar electricidad, por lo menos en las grandes ciudades

## MAPA DE COBERTURA VEGETAL DEL ECUADOR

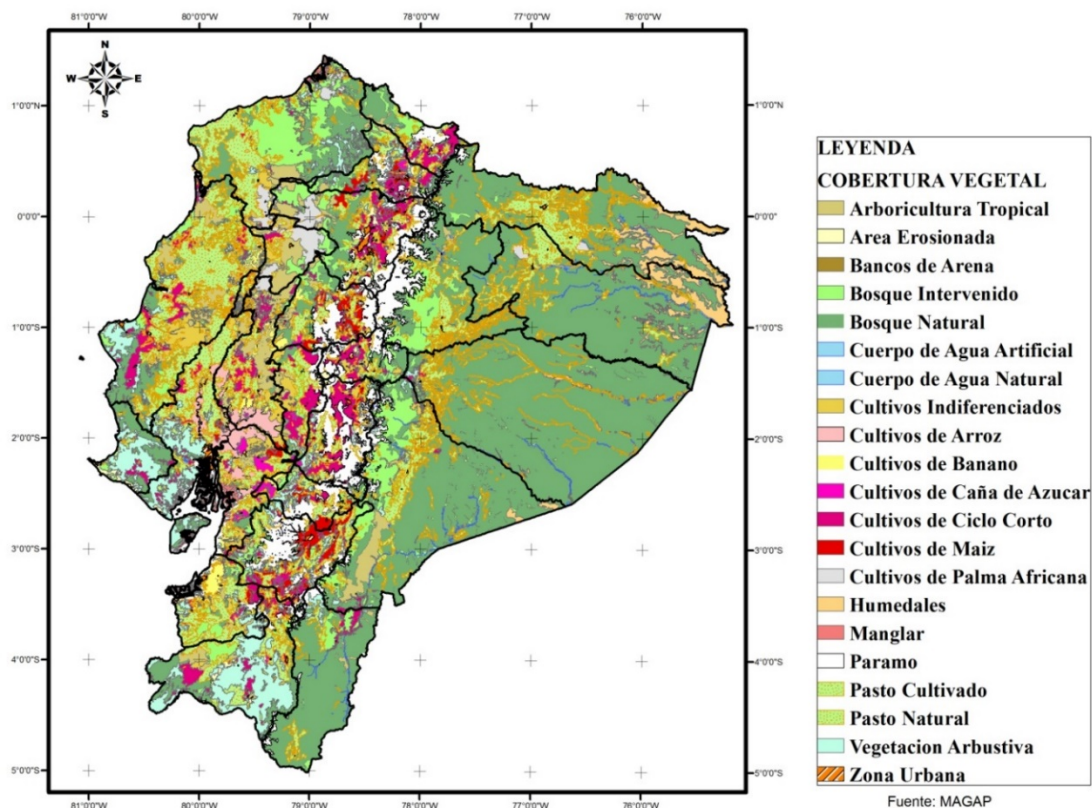


Figura 4 Mapa de cobertura del suelo en Ecuador ((MAGAP), 2010)

### 2.1.2 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

#### 2.1.2.1 BIOMASA NATURAL

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

#### 2.1.2.2 BIOMASA RESIDUAL (SECA Y HÚMEDA)

Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosos y herbáceos) y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el serrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, etc.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

### **2.1.2.3 CULTIVOS ENERGÉTICOS**

Estos cultivos se generan con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Estos cultivos los podemos dividir en:

- Cultivos ya existentes como los cereales, oleaginosas, remolacha, etc.
- Lignocelulósicos forestales (chopo, sauces, etc.)
- Lignocelulósicos herbáceos como el cardo *Cynara cardunculus*
- Otros cultivos como la patata

### **2.1.3 BIOCOMBUSTIBLES**

En general, la biomasa no se puede usar directamente como combustible, salvo en raras ocasiones. Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa por extracción (hidrocarburos), pero es más común someter la biomasa a distintas transformaciones, según su naturaleza y contenido de agua, para su conversión en combustible (Fig. 1). Estas transformaciones pueden ser: procesos químicos por vía húmeda (hidrólisis), bioquímicos (combustión, pirólisis o gasificación para la producción de metanol o hidrocarburos). La hidrólisis y la fermentación son muy adecuadas para la biomasa agrícola y acuática (algas), por su elevado contenido de agua. Los procesos termoquímicos son especialmente idóneos para la biomasa forestal (leña, madera, etc.) con bajo contenido de ceniza (menor al 2%) y azufre (menor al 0,1%) y composición en Carbono (C), Hidrogeno (H) y Oxígeno (O<sub>2</sub>) casi constante (fórmula bruta CH<sub>1,44</sub>O<sub>0,55</sub>).

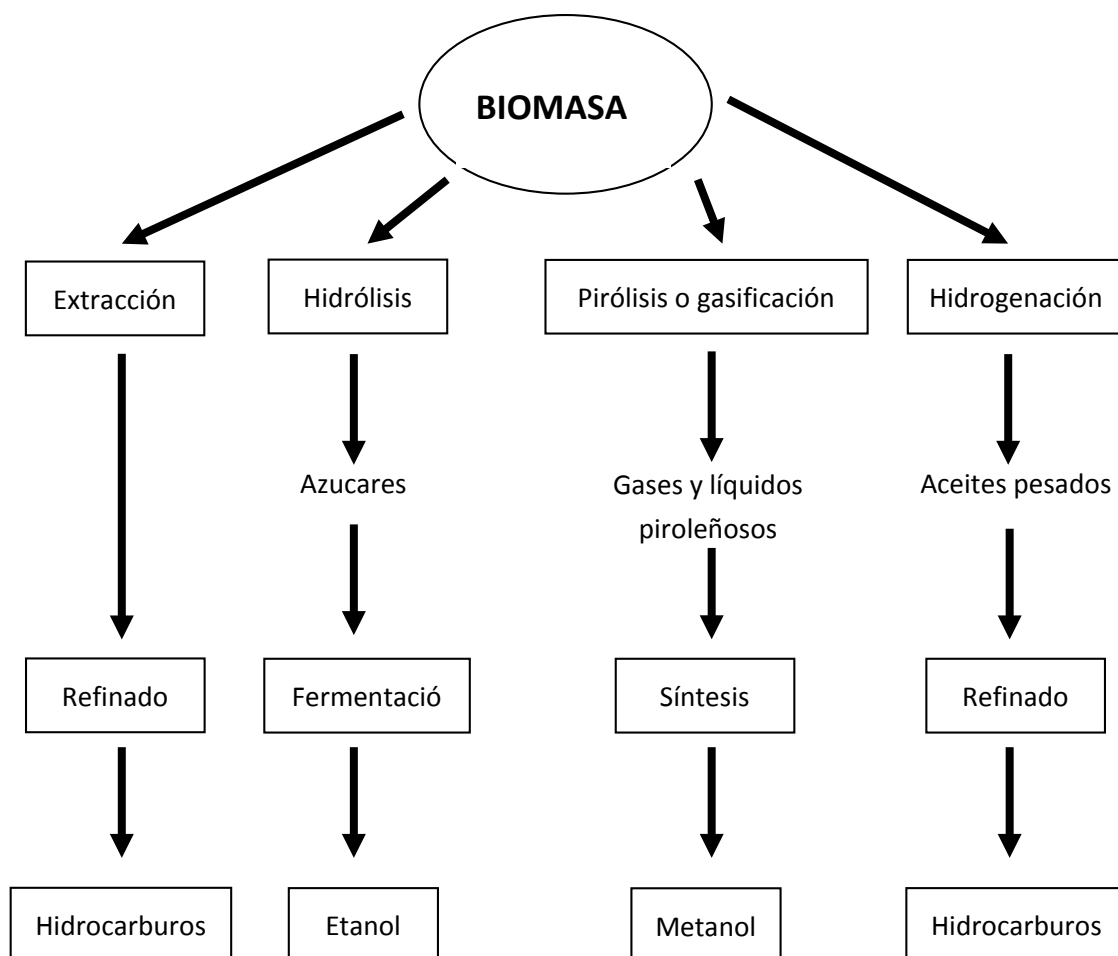


Figura 5 Técnicas de producción de combustibles líquidos, a partir de biomasa. (Manuel Camps Michelena F. F., 2008)

Los biocombustibles han dejado de ser una fantasía, para convertirse en una realidad. Ya podemos ver por las calles automóviles que funcionan con estos biocombustibles. En Brasil, por ejemplo, hay unos 2.000.000 de vehículos que se mueven con alcohol casi puro, el cual se obtiene de la caña de azúcar, y 8.000.000 más utilizan una mezcla de gasolina y alcohol. Este alcohol se realiza a partir de melazas de caña de azúcar o de la pulpa de mandioca, para ser utilizado como combustible. Gran parte del etanol se mezcla con gasolina, y constituye el 20 % del combustible que utilizan los automóviles, con el consiguiente ahorro de energía fósil (gasolina).

Básicamente se trabaja en dos alternativas comerciales: el biodiesel y el bioalcohol.



### 2.1.3.1 BIODIESEL

Son éteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplean en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en calderas de calefacción (definición de *American Standards for Testing and Materials*).

**Tabla 2**

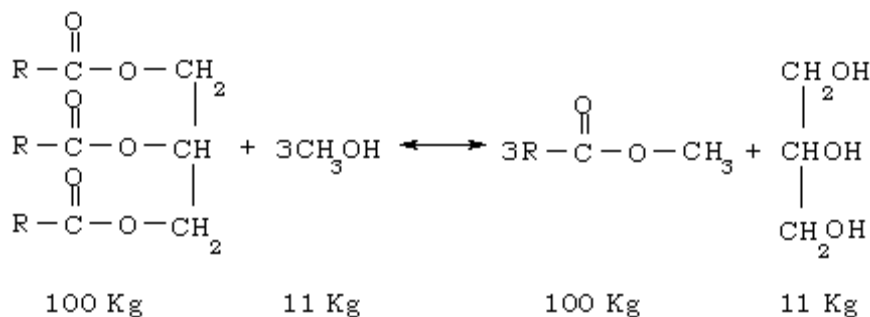
#### Antecedentes del biodiesel

1900 Rudolf Diesel	Aceite de cacahuete
1920 Shay	Aceite de palma
2ª Guerra Mundial	Aceites vegetales
Crisis del petróleo (1973-1979)	Aceites vegetales
1980	Dilución de aceite en gasóleo Mezcla de aceite y disolvente Pirólisis del aceite
Situación actual	Procesos de transesterificación catalítica de aceites vegetales

Fuente: <http://www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp>

El biodiesel está formado por ácidos grasos y éteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y aceites usados. A partir de un proceso llamado "transesterificación", los aceites se combinan con un alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar éteres grasos como el etil o metilo éster. Los productos originados son: glicerina y metiléster. Éste tiene un comportamiento en los motores de combustión de diésel similar al del gasoil. Esta línea es una vía de salida para los excedentes de colza, girasol y otros productos alimentarios.

La glicerina, en este caso, es un subproducto que puede venderse a las fábricas de jabón.



**Figura 6 Reacción de transesterificación.**

(<http://www.milliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp>)

El inconveniente que tiene el biodiesel es que la producción de materias primas que sirven para su obtención es destinado a otros campos como a la producción de aceites para uso alimenticio debido a los altos precios que posee en el mercado.

Producción de **alcohol** a partir de diferentes materias primas que tienen azúcares fáciles de extraer y transformar: semillas de cereal y de maíz, tubérculos, caña de azúcar, materias celulósicas y hemicelulósicas (paja, madera), etc. Mediante un proceso de fermentación de materias azucaradas de los vegetales se obtiene etanol, que se utiliza en los motores de encendido por chispa, mezclado con la gasolina o como único combustible. En este tipo estaría el bioetanol.

### 2.1.3.2 BIOETANOL

Es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales (cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

Los usos del bioetanol son:

- la fabricación del ETBE
- mezcla directa con gasolina
- como combustible principal en los motores de gasolina o
- mezcla directa con diesel.

El MTBE es un producto derivado del gas natural o del carbón, un líquido tóxico que inicia la evaporación a temperaturas moderadas, a partir de 34 °C y es un aditivo que se añade a la gasolina para aumentar el octano. Como sustitutivo al MTBE, se encuentra el bioetanol en forma de ETBE. Cumple mejor esa misión por razones físicas de mezcla y produce menos contaminación residual que el MTBE. Es la mejor vía para introducir la biomasa en el suministro de combustibles de automoción. Puede alcanzarse con ella hasta el 5% del consumo de gasolinas. Por otro lado, los motores admiten mezclas de gasolina con etanol hasta un 20%, sin producirse variaciones notables en su comportamiento.

Incluso los motores pueden funcionar exclusivamente con bioetanol, con una adaptación de los motores a este combustible. Los llamados vehículos flexibles (FFV) permiten la utilización tanto de gasolina como de bioetanol E 85. Estos vehículos utilizan un 15% de gasolina para paliar el problema de la baja presión de vapor y garantizar así el encendido.

En la actualidad se encuentra en fase de experimentación la mezcla del bioetanol con diesel (E diesel). La proporción en la que se está mezclando es entre el 5 y el 15%. Para este tipo de mezcla se necesita la utilización de emulsionantes como aditivos. Con estas mezclas se consiguen combustibles de distintas clases dependiendo de la temperatura de inflamación que tengan.

Dentro de los procesos de producción de etanol, queremos destacar las tres materias principales de las cuales se obtiene: azúcar de los cultivos de

caña o de remolacha; de los cereales, bien mediante el método Dry Milling o Wet Milling; o a partir de biomasa mediante una hidrólisis ácida.

Las ventajas de usar el bioetanol son:

- Una mejora del índice de octanos
- Un mayor calor de vaporización
- La temperatura de llama menor, consiguiéndose una menor pérdida de calor por radiación.
- Un mayor volumen de gases en la combustión, lo que significa una mayor presión y una mayor energía mecánica producida.
- La velocidad de llama mayor, esto se traduce en un desarrollo más eficiente del par del motor.
- Mejora la biodegradabilidad de la gasolina.
- Reduce el número de compuestos aromáticos en la gasolina, y por lo tanto, reduce las emisiones de benceno a la atmósfera.

Los inconvenientes del uso de bioetanol son:

- Eleva la presión de vapor (esto se produce en la mezcla directa).
- Tiene afinidad por el agua.

### **2.1.3.3 BIOCOMBUSTIBLES EN EL ECUADOR**

Están en construcción algunos grandes proyectos para la producción de electricidad: la empresa S. Carlos instalara una central de biomasa de 35 MW utilizando residuos de la caña de azúcar y de otras agroindustrias, y Lucega 13 MW y Ecoelectric 6 MW recuperaran sus residuos en nuevas centrales eléctricas. Se ha presentado al CONELEC para su autorización un proyecto para producir 1MW usando biogás.

El uso de biomasa vegetal para la extracción de azúcares fermentables capaces de producir etanol en Ecuador, es un proyecto que ejecuta la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), desde el 2006. El proyecto

consiste en encontrar mecanismos biotecnológicos adecuados para descomponer la biomasa vegetal en carbohidratos fermentables (conversión de celulosa en glucosa), usando el banano como base de estudio.

La Dirección Nacional de Biocombustibles, área perteneciente al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables del Ecuador, desde su creación ha trabajado en cuatro frentes que son: bio-alcohol, biodiesel (aceite vegetal), biomasa y biogás.

Los estudios desarrollados en el país son: Análisis elemental y de calidad de muestras de biodiesel de palma, oleína de palma y aceite de piñón; Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para generación eléctrica, Aprovechamiento de residuos agrícolas, agroindustriales y pecuarios para la producción de energía mediante biodigestores; Aprovechamiento de basura y plásticos residuales para generación de energía eléctrica y/o térmica, diésel y otros subproductos.

Los siguientes programas se están ejecutando y tienen carácter piloto. Se espera sus resultados para poder escalar a otras localidades a nivel nacional.

## **1. PROGRAMA DE FORMULACIÓN DE GASOLINAS CON ETANOL ANHIDRO.**

La ministra coordinadora de la producción, junto con los ministerios de: Electricidad, Recursos no renovables y Petrocomercial realizaron el lanzamiento de la gasolina ECO PAÍS el 12 de enero de 2010. El objetivo del proyecto es formular la gasolina que se comercializa en el país con un 10% de etanol anhidro, a fin de reducir la importación de nafta de alto octano en un 15% y desarrollar la agroindustria, generando plazas de trabajo.

El plan de formulación de gasolinas con etanol contempla dos etapas: un plan piloto en Guayaquil, y de acuerdo a resultados, un plan a nivel nacional.

El plan piloto en Guayaquil pretende atender la demanda de la gasolina extra que tiene dicha ciudad (aproximadamente 5830 barriles diarios) con gasolina extra formulada con el 5% de etanol anhidro.

El plan a nivel nacional pretende formular toda la gasolina que se comercializa en el país con un 10% de etanol anhidro. La implementación de este plan será de manera paulatina y de acuerdo a la disponibilidad de etanol anhidro en el país.

## **2. PRODUCCIÓN LOCAL DE ACEITE DE PIÑÓN PROCEDENTE DE CERCAS VIVAS DE MANABÍ PARA SER UTILIZADO EN UN PLAN PILOTO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.**

El citado programa es una iniciativa del Gobierno Nacional que tiene el propósito diversificar las fuentes para el suministro de energía y reducir los riesgos ambientales, asociados al derrame de combustible por el transporte y manejo del mismo desde el continente hacia el archipiélago (Isla Floreana); así como, las emisiones de gases de efecto invernadero.

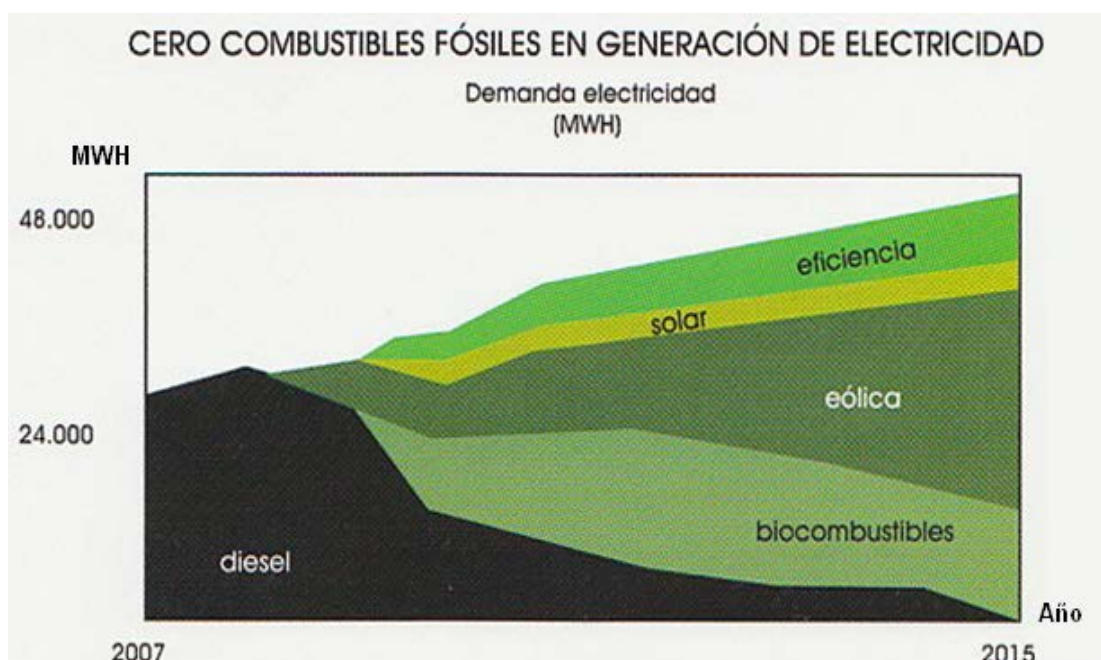
Por otro lado, la producción sostenible de biocombustibles a partir de cercas vivas ya existentes en el litoral ecuatoriano, en su primera etapa proveniente de la provincia de Manabí por su tradición en la siembra de la oleaginosa, proporcionara nuevas alternativas laborales a pequeños productores del lugar, brindando la oportunidad de suministrar no solo la semilla de piñón, sino de participar en la producción del aceite en pequeñas centrales extractoras descentralizadas ubicadas en la provincia de Manabí.

## **3. CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES A NIVEL NACIONAL.**

El objetivo de este proyecto es construir biodigestores a nivel nacional a escala demostrativa-educativa, con lo que se implementaría un programa de capacitación, promoción y difusión de la tecnología de indigestión.

#### 4. PROYECTO PILOTO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO ACEITE VEGETAL DE PIÑÓN EN LA ISLA FLOREANA.

Con la finalidad de erradicar progresivamente el uso de combustibles fósiles en Galápagos, el estado ecuatoriano a través del ex ministerio de energía y minas, junto con el programa de naciones unidas para el desarrollo y con recursos del fondo mundial de ambiente, emprendieron el proyecto de energía renovable para las islas galápagos en abril de 2007, este proceso se profundiza con la instauración de la política “Cero combustibles fósiles para Galápagos”.



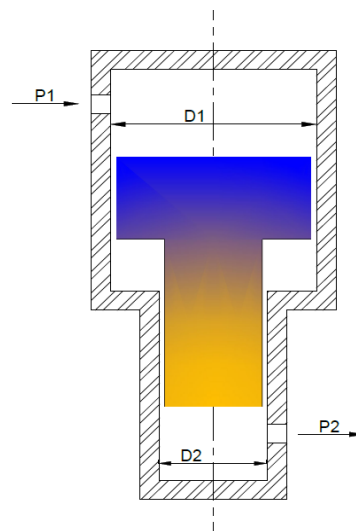
**Figura 7 Cero combustibles fósiles, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (GALÁPAGOS). (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014).**

#### 2.2 ASPECTO TECNOLÓGICOS

Para el desarrollo de la micro extrusora es necesario señalar aspectos tecnológicos relevantes que van a formar parte esencial de la máquina como son el principio del intensificador, la transferencia de calor en el cilindro, análisis de cilindros de pared gruesa, mecanismos de transmisión de potencia y acoples.

### 2.3 PRINCIPIOS DEL INTENSIFICADOR

Se pueden producir presiones sustancialmente más altas que las generadas en bombas hidráulicas, donde se comprime un fluido sobre los 700 Kg/cm<sup>2</sup>, mediante el movimiento de un vástago que empuja a un émbolo o pistón que comprime el aceite u otro fluido en el cilindro. Existe otros artificios llamado intensificador, que tiene un principio simple de acuerdo con la siguiente figura: (Stewart, el mundo de la alta presión).



**Figura 8 Intensificador de presión.**

Un émbolo de dos secciones, con diámetros  $d_1$  y  $d_2$ , pueden moverse en cilindros diferentes. Si se aplica presión  $P_1$  al extremo grande (diámetro  $d_1$ ), la fuerza aplicada es:

$$F_a = \frac{\pi}{4} P_1 \cdot d_1^2 \quad (\text{N}) \quad (2.1)$$

Esta fuerza es transmitida al extremo pequeño del intensificador, de diámetro  $d_2$  y ejerce una presión:

$$P_2 = P_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (\text{Pa}) \quad (2.2)$$

Sobre el fluido o la biomasa compactada en el segundo cilindro, se observa fácilmente que  $P_2$  es mayor que  $P_1$  por la relación  $\frac{d_1^2}{d_2^2}$ , un intensificador de



este tipo, multiplica a la presión de entrada por el cociente entre los cuadrados de los diámetros. Si no existiera la diferencia entre las magnitudes de los diámetros la presión sería siempre algo menor, a causa de la fricción.

El principio de intensificador se aprovecha para elevar la presión, por un factor de diez (10) a cien (100), o más, en una gran variedad de formas de equipo experimental. Se puede utilizar, aparte de un fluido hidráulico, tornillos de potencia para desplazar el dispositivo de transmisión de presión como en el caso del que se analizara en el presente proyecto

## 2.4 ANÁLISIS DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA Y ALTA TEMPERATURA

### 2.4.1 SUPOSICIONES BÁSICAS PARA UN CILINDRO DE PARED GRUESA

- La relación entre el espesor del cilindro y el diámetro interior tiene que ser mayor o igual a 0,10: (Hearn J. , 1985)

$$\frac{t}{d_i} \geq 0,10 \quad (2.3)$$

**Dónde:**

**t:** Espesor del cilindro (m)

**di:** Diámetro interior del cilindro (m)

- Los esfuerzos radial y tangencial no son constantes y vienen dado por las ecuaciones considerando que solo están sometidos a presión interna:

$$\sigma_t = A + \frac{B}{r^2} \quad (2.4)$$

$$\sigma_r = A - \frac{B}{r^2} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{PR_1^2}{(R_i^2 + R_e^2)} \quad (2.6)$$

$$B = \frac{PR_1^2 R_2^2}{(R_i^2 + R_e^2)} \quad (2.7)$$

**Dónde:**

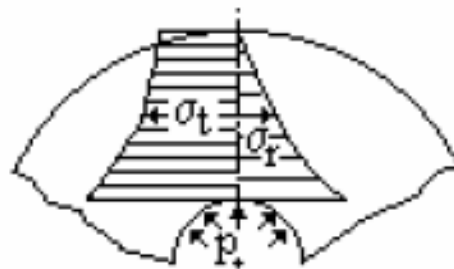
$\sigma_t$ : Esfuerzo tangencial (Pa)

$\sigma_r$ : Esfuerzo radial (Pa)

**A y B:** Variables matemáticas (Pa)

**P:** Presión interna (Pa)

**R:** Radio (m)



**Figura 9 Cilindro de pared gruesa sometido a presión interna.**

- Esfuerzo longitudinal es constante

$$\sigma_L = \frac{PR_i^2}{(R_e^2 - R_i^2)} \quad (2.8)$$

**Dónde:**

$\sigma_L$ : Esfuerzo longitudinal (Pa)

**P:** Presión interna (Pa)

**R:** Radio (m)

## 2.5 MECANISMOS DE TRASMISIÓN DE POTENCIA

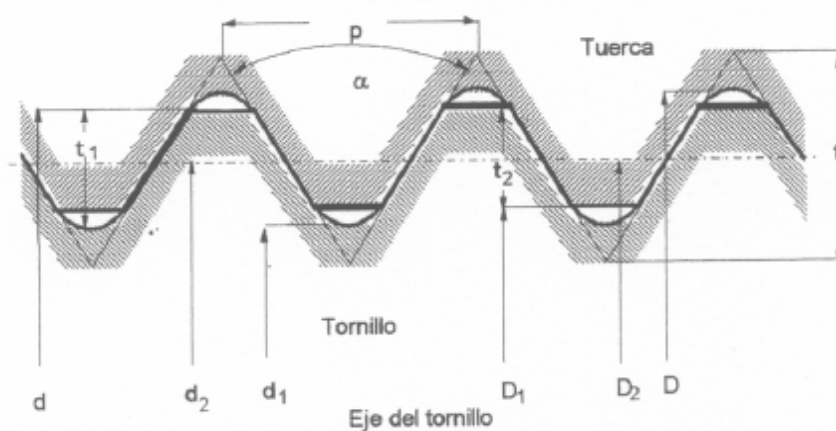
### 2.5.1. TORNILLO DE POTENCIA

Son un dispositivo para cambiar movimiento angular por lineal y, usualmente para transmitir potencia. Los tornillos de potencia se utilizan:

1. Para obtener una ventaja mecánica mayor con el objeto de levantar pesos
  2. Para ejercer fuerzas de gran magnitud; como en el caso de los compactadores o prensas.
  3. Para obtener posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.
- (Departamento de Diseño Mecánico)

Formas de las roscas:

- a) Rosca cuadrada (Sellers): Es el tipo de tornillo más eficiente en cuanto a fricción por deslizamiento pero tiene ventaja mecánica baja, es difícil y cara de maquinar.
- b) Rosca ACME: primer tipo de rosca utilizada en general para maquinas herramientas. Clases de ajustes: 2G, 3G y 4G.
- c) Rosca trapezoidal: diseñada para resistir cargas en una sola dirección y es más resistente que las demás porque el espesor de raíz es mayor. Eficiencia similar a la de la rosca Sellers, fácil de cortar y fabricar a costos razonables.
- d) Rosca cuadrada modificada: más fácil de maquinar y posee la misma eficiencia que la Sellers.
- e) ACME truncada: aplicaciones donde, debido al tratamiento térmico necesita paso grande con rosca poco profunda. Ajuste 2G para propósitos generales. (Mecánico)



**Figura 10 Tornillo – Nomenclatura.**

## 2.6 TRANSFERENCIA DE CALOR EN CILINDROS DE PARED GRUESA

### 2.6.1 EFECTO JOULE

La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente. (CONSTRUMÁTICA, s.f.)

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.9)$$

**Dónde:**

**Q:** Cantidad en energía calorífica (J)

**I:** Intensidad de corriente (A)

**R:** Resistencia eléctrica (V/A)

**t:** Tiempo

### 2.6.2 TRASFERENCIA DE CALOR EN EL CILINDRO

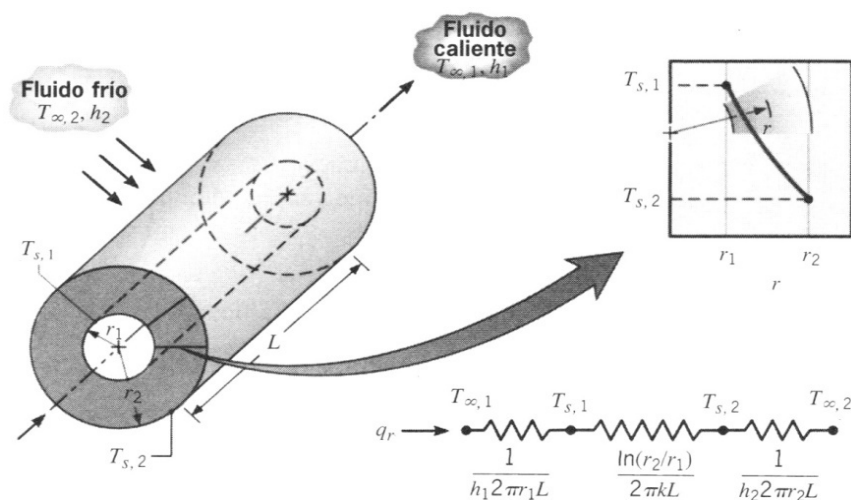
Para condiciones en estado estable sin generación de calor, la forma apropiada de la ecuación de calor, es:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( kr \frac{dy}{dx} \right) = 0 \quad (2.10)$$

La rapidez a la que se conduce la energía a través de cualquier superficie cilíndrica en el sólido se expresa como:

$$q_r = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \quad (2.11)$$

Donde  $A = 2\pi rL$  es el área normal a la dirección de transferencia de calor.



**Figura 11 Cilindro hueco con condiciones convectivas en la superficie.**

Es posible determinar la distribución de temperaturas en el cilindro resolviendo la ecuación (2.8) y aplicando las condiciones de frontera apropiadas. Si se supone el valor de  $k$  constante e integrando dos veces y sustituyendo en la solución general se obtiene

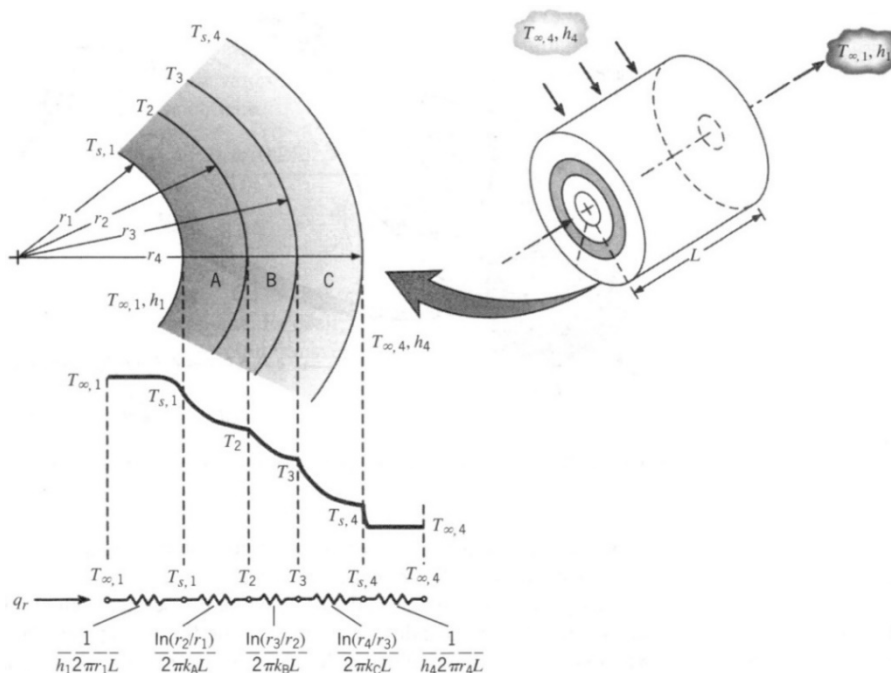
$$T(r) = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right) + T_{s,2} \quad (2.12)$$

la siguiente expresión para la transferencia de calor:

$$q_r = \frac{2\pi L k (T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.13)$$

Para la conducción radial en una pared cilíndrica, la resistencia térmica es de la forma:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k} \quad (2.14)$$



**Figura 12 Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica compuesta.**

El valor de  $q_r$  es independiente de  $r$ , considerando el sistema compuesto de la FIGURA 2.6 la transferencia de calor se expresa como:

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_A} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_B} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_C} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}} \quad (2.15)$$

El resultado anterior también se puede expresar en términos de un coeficiente global de transferencia de calor. Es decir:

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{R_{tot}} = UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,4}) \quad (2.16)$$

Si  $U$  se define en términos del área interior  $A_1 = 2\pi r_1 L$ , las ecuaciones (2.15) y (2.16) se igualan y dan como resultado

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k_A} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{k_B} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{r_1}{k_C} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{r_1}{r_4} \frac{1}{h_4}} \quad (2.17)$$

**Dónde:****T:** Temperatura (°C)**r:** Radio (m)**k:** Coeficiente de conductividad térmica (W/m °C)**L:** Longitud de transferencia de calor (m)**q<sub>r</sub>:** Cantidad de calor transferida (W)**R<sub>t</sub>:** Resistencia térmica para la conducción de calor**h:** Coeficiente de convección térmica (W/m<sup>2</sup> °C)**U:** Coeficiente de transferencia de calor pared cilíndrica (W/m<sup>2</sup> °C)**2.7 MECÁNICA DE LOS FLUIDOS NO NEWTONIANOS.****2.7.1 DEFINICIÓN DE FLUIDO NO NEWTONIANO**

Sustancias que no se comportan siguiendo la ley de Newton de la viscosidad, ya que su viscosidad a una temperatura y presión dadas es función del gradiente de velocidad o velocidad de deformación. Fluidos cuya relación entre tensión y velocidad de deformación no es proporcional. Estos fluidos son estudiados por la Reología.

**2.7.2 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS NO NEWTONIANOS**

Los fluidos que no siguen la relación de proporcionalidad entre tensiones tangenciales y velocidades de deformación se los clasifica en 3 grupos:

- **Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo** para los cuales se verifica

$$\tau = f(\dot{\gamma}) \quad (2.18)$$

- **Fluidos no-newtonianos dependientes del tiempo** en los que la relación anterior es más compleja, y que puede expresarse como: (Ibarrola, Introducción a los fluidos NO Newtonianos)

$$\tau = f(\dot{\gamma}, t) \quad (2.19)$$

- **Fluidos visco-elásticos**, fluidos en los que a diferencia de los viscosos donde la energía de deformación es disipada totalmente, esa energía puede recuperarse como sucede en los sólidos elásticos

### 2.7.3 FLUIDOS NO NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO

Se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación, y se representan funcionalmente en tres formas equivalentes:

$$\tau = f\left(\frac{du}{dy}\right) \quad \tau = f\left(\frac{d\gamma}{dt}\right) \quad \tau = f(\dot{\gamma}) \quad (2.20)$$

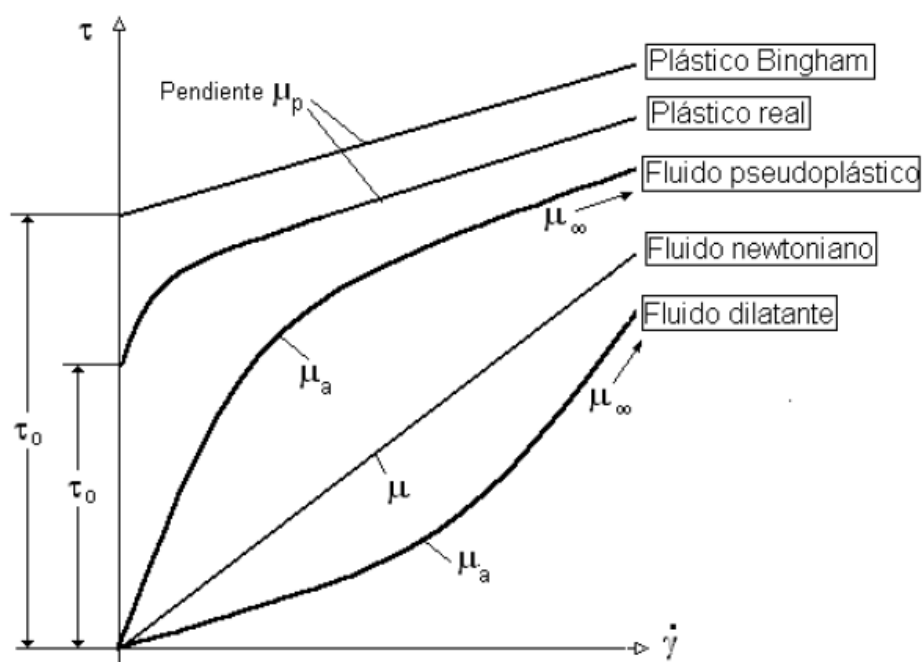


Figura 13 Clasificación de los fluidos según la relación  $\tau = f(\dot{\gamma})$



El comportamiento de los fluidos indicados en la Figura 13 suele expresarse en forma generalizada mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad \tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad \tau = f(\dot{\gamma}) \quad (2.21)$$

Donde:

**$\eta$** : Puede ser indistintamente tanto una función de la tensión tangencial  $\tau$  como de la velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$ .

**$\tau$** : Tensión de fluencia

**$\dot{\gamma}$** : Velocidad de deformación

**t**: Tiempo

## CAPITULO 3

### TECNOLOGÍA PARA OBTENCIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

#### 3.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras y algunas clases de bacterias. Estos microorganismos transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono. La fermentación alcohólica, comienza después de que la glucosa entra en la celda. La glucosa se degrada en un ácido pirúvico. Este ácido pirúvico se convierte luego en CO<sub>2</sub> y etanol.

#### 3.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es la utilización de un determinado tipo de bacterias que en condiciones anaerobias (sin oxígeno) degradan la materia orgánica generando un combustible. (Martínez, Los Biocombustibles , 2002)

Es la que se realiza en ausencia de oxígeno al introducir en una cámara de bioreacción, materia prima de origen orgánico para producir biol y biogás.

Para el caso del biogás se tiene la ventaja que se puede considerar como subproducto, siendo el motivo fundamental de la fermentación, en este caso, la reducción de la contaminación, sobre todo cuando se trata de residuos de granjas e industrias agroalimentarias.

La proporción de gas metano presente en el biogás depende de la materia prima empleada:

**Tabla 3****Contenido de metano según la materia prima.**

<b>MATERIAL</b>	<b>TIEMPO DE FERMENTACIÓN (Días)</b>	<b>CONTENIDO CH<sub>4</sub> (%)</b>
Estiércol vacuno	115	80
Estiércol de cerdo	115	81
Paja 30 mm de longitud	120	80
Paja 2 mm de longitud	80	81
Mata de patata	50	75
Hojas de remolacha	14	85
Hierba	24	84

Fuente: Libro los Biocombustibles, Martínez , M. C.

Requisitos para implantar una instalación de biogás son, además de la propia producción, que el residuo se pueda utilizar aun como abono y que, en conjunto, la rentabilidad esté asegurada, es decir, que sea rentable económicamente.

**Tabla 4****Grado de aprovechamiento de biomasa según sus contenidos.**

	<b>CONTENIDO EN MASA SECA (%)</b>			<b>GRADO DE APROVECHAMIENTO (%)</b>
	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	
Estiércol natural	1,9	0,8	2,8	30
Estiércol después de la fermentación	3,8	2,0	6,4	70

Fuente: Libro los Biocombustibles, Martínez , M. C.

Normalmente, hay dos métodos para producir biogás:

- El método húmedo, cuando el sustrato tiene máximo un 15% de materia seca, y el uso de las bombas es sencillo

- El método seco, cuando el sustrato tiene una proporción de materia seca del 25% de mayor rendimiento en energía pero con mayores problemas en el manejo del material

El sistema para la obtención del biogás a través de residuos consta de los siguientes elementos:

- Un depósito aislado térmicamente construido en chapa de acero, donde se mezclan los residuos
- El digestor elemento fundamental de similares características al anterior, con un agitador de paletas, que gira lentamente
- Un cambiador de calor, necesario para aumentar la temperatura del digestor, de modo que se puedan realizar las reacciones químicas necesarias; el fluido calefactor es agua
- Un compresor, para elevar la presión del gas formado en el digestor, con una presión máxima de salida de unas decenas de bares
- Unas bombas, necesarias para vencer las pérdidas de carga del sustrato, formado por distintas materias espesas
- Tuberías, presostatos, termómetros, válvulas, quemadores para calentar el agua, contador de biogás.

Los aparatos que necesitan energía pueden obtenerla, en parte, del propio biogás producido, aunque pueden funcionar también con otro tipo de combustible, por ejemplo, propano, sobre todo durante el arranque de la instalación.

El biogás conseguido a partir de ensilado, tiene una tasa energética (cociente de energía producida y empleada) de 2, con una producción neta de energía (input-output) de 30 GJ/Ha. En ambos casos como es usual, se desperdicia la energía solar pues, de otro modo, el resultado nunca llegaría a ser positivo.

La potencia obtenida con estos combustibles gaseosos en motores es menor que en el caso de la gasolina o el gasoil, debido sobre todo al menor

poder calorífico de este combustible, así como su baja densidad, razón por la cual también es muy inferior su autonomía; salvo casos excepcionales, se suelen emplear en motores fijos, o ver restringido su uso a tiempos de crisis o de guerra.

No es raro que se transforme en energía eléctrica, para lo que se usa un moto generador, con un motor de explosión de poca velocidad.

El biogás tiene problemas con la presencia de ácido sulfhídrico ( $\text{SH}_2$ ), ya que es muy corrosivo, para llegar a una concentración menor al 0,1% el volumen, en instalaciones grandes se usa un sistema de adsorción física mediante productos aminados; el fluido resultante cargado de ácido sulfhídrico, se elimina por calentamiento con lo que se consigue quitar también una gran parte de  $\text{CO}_2$ , y el gas obtenido queda enriquecido con metano, con el consiguiente aumento del poder calorífico. Tiene la desventaja fundamental en que el coste del sistema es elevado y exige personal altamente calificado.

En el caso de instalaciones de menor capacidad, se puede recurrir, para la eliminación de ácido sulfhídrico a algunos de los siguientes métodos:

- Empleo de una solución de sosa, con el principal inconveniente de la mano de obra necesaria para preparar la solución, el propio consumo de sosa, alta corrosión y también el precio
- Viruta de hierro, como elemento de un filtro de forma cilíndrica; hay que oxidar antes la viruta, para facilitar las reacciones químicas; se necesita una soplante; la reacción con la viruta es muy exotérmica, pudiéndose llegar a fundir.
- Quelatos, así mismo como elementos de un filtro, pero se tiene que utilizar en gran cantidad.
- Cloruro férrico añadido a la carga diaria del digestor, que no parece haber dado los resultados que, en un principio, se esperaban.

- Tierras a base de óxidos de hierro que dieron un resultado bastante bueno durante unos meses, para bajar el rendimiento a continuación, lo que impulsó el cambio del material.

### **3.3 DIGESTIÓN AEROBIA**

Es un proceso en el cual los microorganismos, es decir las bacterias aerobias degradan la materia prima orgánica en presencia de oxígeno. El equipo para desarrollar la digestión aerobia se conoce como birreactor en su interior los microorganismos o células son capaces de realizar su función con gran eficiencia bajo determinadas condiciones, como el flujo de gases: oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, temperatura, Ph, oxígeno disuelto y velocidad de agitación o circulación que deben ser monitoreadas y controladas periódicamente.

La misma propagación celular puede afectar la esterilidad o eficiencia del birreactor especialmente por la presencia de intercambiadores de calor, para evitar lo anteriormente indicado el birreactor debe ser termolábil y con acabados lo más sanitario posible, en un proceso aerobio la transferencia optima de oxígeno es tal vez la tarea más difícil de lograr. El oxígeno se disuelve poco en agua y aún menos en caldos fermentados y es relativamente escaso en aire con un equivalente de 20,8%. La transferencia de oxígeno usualmente se facilita por la agitación que se necesita también para mezclar los componentes y mantener la fermentación homogénea sin embargo existen límites para la velocidad de agitación, que puede variar de 0 a 250 RPM. Una alta velocidad de agitación puede dañar a los organismos debido a la presencia de un esfuerzo de corte excesivo. Las bacterias u otros organismos simples pueden resistir la fuerza de agitación, sin embargo, requieren que los nutrientes lleguen hacia los sitios donde crece la flora bacteriana.  
(CALIFORNIA ENERGY COMMISSION)

La fermentación aerobia puede ser utilizada para crecimiento de células o tejidos para descontaminación de fluentes, mediante la generación de medios de cultivo de alta eficiencia.

Lo primero que hay que entender en el diseño de reactores biológicos es que contrario a los químicos, su cinética no está determinada exclusivamente por la velocidad de reacción y las variables que la determina. Aunque se puede describir de manera similar a la química, la cinética biológica también depende de características intrínsecas del organismo o cultivo tales como crecimiento y tasa de división celular, así como, del tipo de operación que se lleve a cabo. Por eso, lo primero que se define en el diseño de un bioreactor es el propósito de utilización; es decir, que tipo de cultivo se va a utilizar, el modo de operar y/o el proceso de cultivo. El conjunto bioreactor-sistema de cultivo debe cumplir con los siguientes objetivos:

1. Mantener las células uniformemente distribuidas en todo el volumen de cultivo.
2. Mantener constante y homogénea la temperatura.
3. Minimizar los gradientes de concentración de nutrientes.
4. Prevenir la sedimentación y la floculación.
5. Permitir la difusión de gases nutrientes a la velocidad requerida del cultivo.
6. Mantener el cultivo puro.
7. Mantener un ambiente aséptico.
8. Maximizar el rendimiento y la producción.
9. Minimizar el gasto y los costos de producción
10. Reducir al máximo el tiempo.

La fermentación es el proceso biológico o bioproceso que consiste en la descomposición de la materia orgánica por microorganismos fermentadores que pueden ser bacterias y hongos. En la digestión aerobia, un cultivo también es un bioproceso pero generalmente se asocia a organismos o

microorganismos superiores a las bacterias; los cultivos son todos del reino Eucariota.

Para poder explicar en forma más amplia se describe a continuación los aspectos fundamentales del proceso de biodegradación aerobia.

Se denomina aerobios a los organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o poder desarrollarse.

El metabolismo aerobio (respiración) surgió en la evolución después que la fotosíntesis oxigénica, la forma más común de fotosíntesis, inundó la atmósfera de oxígeno, el cual había sido muy escaso hasta entonces. Representó inicialmente una forma de contrarrestar la toxicidad del oxígeno, más que una manera de aprovecharlo. Como la oxidación de la glucosa y otras sustancias libera mucha más energía que su utilización anaerobia, los seres aerobios pronto se convirtieron en los organismos dominantes en la Tierra.

El antepasado común de los organismos eucariontes (con células nucleadas) adquirió la capacidad de realizar el metabolismo aerobio integrando a una bacteria aerobia como orgánulo permanente, la mitocondria.

El adjetivo *aerobio* se aplica no sólo a organismos sino también a los procesos implicados (*metabolismo aerobio*) y a los ambientes donde se realizan. Un *ambiente aerobio* es aquel rico en oxígeno, a diferencia de uno anaerobio, donde el oxígeno está ausente, o uno microaerofílico, donde el oxígeno se encuentra a muy baja concentración.

Aerobiosis, es un proceso conocido como respiración celular, usa el oxígeno para oxidación del sustrato (por ejemplo azúcares y grasas para obtener energía).

Un buen ejemplo podría ser la oxidación de la glucosa (un monosacárido en la respiración aeróbica).





Dando alrededor de  $2880 \text{ kJmol}^{-1}$  El oxígeno es usado durante la oxidación de la glucosa y produce agua. Esta reacción es resumida de los que normalmente pasa en la serie bioquímica conocida como ciclo de Krebs.

Es la utilización de un determinado tipo de bacterias que en condiciones aerobias (con oxígeno) degradan la materia orgánica generando un combustible.

### **3.4 PIRÓLISIS**

Es un proceso en el cual materia orgánica es degradada térmicamente en una atmosfera libre de sustancias oxidantes.

De una pirólisis lenta de materia orgánica se forman dos tipos de productos: solido (carbón) y gases, parte de estos se condensa formando alquitrán y líquidos piroleñosos. (Quirino, Modulo xvi, Instalaciones Energéticas de Biomasa-Maestría en Energías Renovables,, 2010)

#### **3.4.1 CALIDADES Y RENDIMIENTOS DE LA CARBONIZACIÓN**

El carbón vegetal puede alcanzar un poder calórico de  $7887 \text{ Kcal/Kg}$ , superior a la leña humedad que tiene un poder calórico de  $3300 \text{ Kcal/Kg}$ , material volátil inferior al 30% y contenido de cenizas de 1 a 3%.

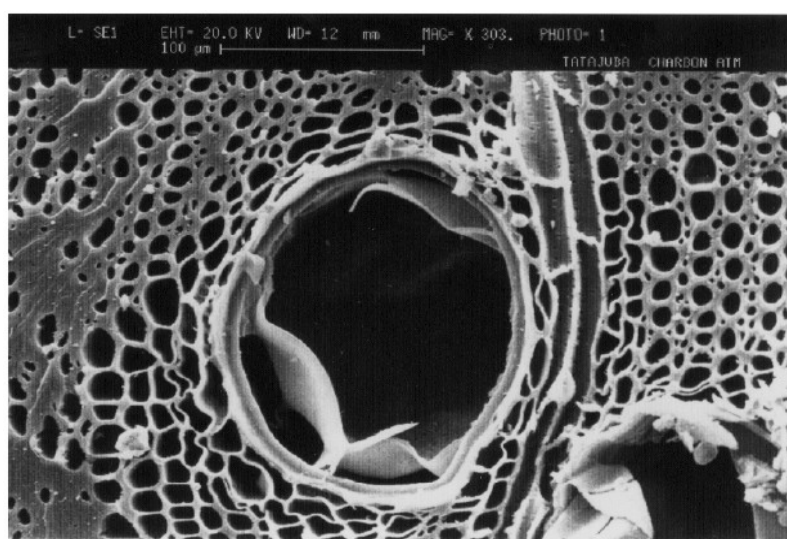
En procesos convencionales de carbonización los rendimientos son menores en el orden del 38% durante una producción de 8 días.

Para el caso de la celulosa se tiene un rendimiento del 44,4%. Se estima que se puede obtener un rendimiento gravimétrico del 50 a 80% en óptimas condiciones.

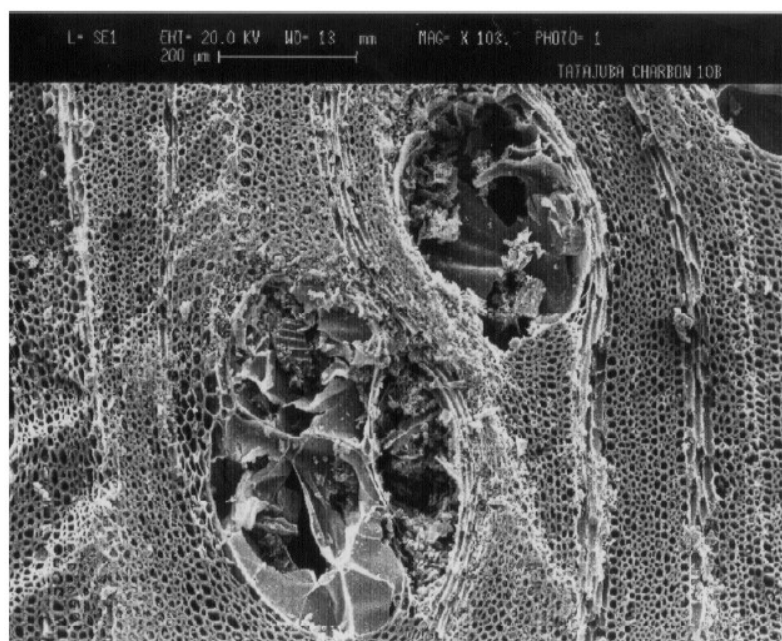
### 3.4.2 PIRÓLISIS CON PRESIÓN

La pirólisis con presión consiste en la carbonización efectuada en un reactor que se encuentra sometido a presión superior a la atmosférica. La pirólisis con presión puede permitir rendimientos entre el 62% en la producción de carbón.

Funcionamiento:



**Figura 14 Pirólisis (0 Bar).**



**Figura 15 Pirólisis (10 Bar).**

La pirólisis se define como la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.

### 3.5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

**Tabla 5**

**Ponderación para alternativas.**

<b>Aspectos Técnicos (50% ponderación general):</b> Valor más alto por la complejidad de diseño y construcción de máquina		
<b>Aspecto</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observación</b>
Fabricación	12	Aspecto más importante al tomar en cuenta que es un proyecto de diseño y construcción de una máquina
Complejidad	9	Se hace referencia a las complicaciones y elementos necesarios para la obtención de biocombustibles
Materiales	8	Considerando la cantidad y calidad de los materiales necesarios para el proceso de obtención de biocombustible
Sub Productos obtenidos	8	Considerando que el objetivo principal obtener 3 biocombustibles
Seguridad de Uso	7	Considerando la seguridad es importante en la utilización de todo equipo
Operación y Mantenimiento	6	Considerando que el punto más importante es obtener biocombustibles quedando en segundo plano este aspecto

<b>Aspectos Técnicos (30% ponderación general):</b> Valor medio considerando la importancia de la inversión a realizarse		
<b>Aspecto</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observación</b>
Costos de fabricación	15	Considerando que es la más fuerte inversión económica necesaria
Costos de operación y mantenimiento	8	Considerando los costos de materias primas y elementos para mantenimiento
Costos de montaje	7	Considerando la dificultado de montaje

<b>Aspectos Complementarios (20% ponderación general):</b> Valor bajo considerando la que es un aspecto de menor importancia		
<b>Aspecto</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observación</b>
Nivel tecnológico	5	Considerando el nivel de tecnología que se requiere
Eficiencia energética	5	Considerando que el objetivo es obtener biocombustibles
Depreciación	4	Considerando que es un proyecto experimental y NO comercial
Consideraciones ambientales	4	Considerando la mínima contaminación que se genera
Facilidad de transporte	2	Considerando que es un proyecto experimental

Tabla 6

### MATRIZ DE DECISIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE

ASPECTOS	PONDERACION	A	B	C	D
		Fermentacion Alcohólica	Digestion Anaerobia	Digestion Aerobia	Pirolisis
<b>TECNICOS</b>	<b>50</b>				
Grado de complejidad	9	5	7	4	5
Facilidad de Fabricacion	12	8	10	9	8
Disponibilidad de Materiales	8	6	8	7	8
Facilidad de Operación y Mantenimiento	6	4	5	3	6
Seguridad de Uso/Funcionalidad	7	3	2	7	6
Sub Productos Obtenidos	8	4	5	4	8
<b>SUBTOTAL</b>		<b>30</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>41</b>
<b>ECONOMICOS</b>	<b>30</b>				
costos de fabricacion	15	10	12	11	10
costo de montaje	7	5	6	6	6
costos de operación y mto	8	5	5	4	5
<b>SUBTOTAL</b>		<b>20</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>21</b>
<b>COMPLEMENTARIOS</b>	<b>20</b>				
Depreciacion	4	2	1	3	3
Facilidad de Transporte	2	1	2	2	2
Nivel Tecnológico	5	4	1	4	4
Eficiencia Energetica	5	3	2	3	3
Consideracion ambiental	4	1	2	4	5
<b>SUBTOTAL</b>		<b>11</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
<b>TOTAL</b>		<b>61</b>	<b>68</b>	<b>71</b>	<b>79</b>

Después de analizar los aspectos técnicos, económicos y complementarios de cada uno de los distintos procesos para obtener biocombustibles a través de una matriz de decisión se llegó a la conclusión que el proceso ideal para el proyecto que se está realizando es La Pirólisis.

### **3.6 CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA ELÉCTRICA**

Cuando la corriente circula por el elemento calefactor (resistencia eléctrica), los electrones pierden energía al colisionar al interior del conductor, como consecuencia de esto, aumenta la temperatura; es decir, la energía eléctrica se disipa en forma de calor. Si el conductor, es muy fino, éste se calienta hasta ponerse incandescente, este efecto físico que tiene aplicación en equipamiento como por ejemplo: estufas, baños termostáticos, hornos eléctricos, etc.

### **3.7 ANÁLISIS DE QUEMADORES**

En el desarrollo de esta tesis se menciona este tema a nivel de descripción del proceso que existe para aprovechar el calor generado por la biomasa al ser esta quemada a través de una máquina térmica, y mas no como parte del desarrollo del diseño y construcción que se realice en la micro-extrusora experimental de biomasa.

En un proceso térmico en el cual la transferencia de calor depende de la energía liberada durante la combustión, el quemador juega un papel importante. Un quemador puede definirse como una máquina térmica, en la mayoría de los casos sin partes móviles, en la cual se realiza parte de la transformación de la energía química contenida en los enlaces moleculares del combustible, en energía térmica. Por definición, la eficiencia de un proceso de combustión depende de diversos factores mencionando así por ejemplo el nivel térmico y de turbulencia, la estequiometría, y de la homogeneidad espacial de la mezcla reactiva. (Salvi G. “., 1975)

Existen varios tipos de quemadores para la industria como calderas de instalaciones industriales que toman en cuenta la proporción aire-combustible para configurar la llama según sean los requerimientos. A continuación se menciona los tipos de quemadores referentes a la biomasa y su aplicación (LowEnergyHouse, s.f.):

- **Quemadores de Biomasa – Estufas de leña domesticas**

Estas estufas de leña son típicamente selladas de unidades fabricadas en hierro fundido o acero. Operan a cerca del 75 por ciento, mientras que la eficiencia de un fuego abierto funciona a sólo 15 a 20 por ciento de eficiencia. Las estufas de leña requieren de alimentación regular con buena calidad, limpia, la madera debe estar seca.



**Figura 16 Estufa de leña domestica**

- **Quemadores de Biomasa - Calderas para Madera y Agua Ardiente**

Sirven para proporcionar calefacción y agua caliente sanitaria con una combinación de calderas. Las estufas de leña pueden proporcionar la mayor parte del agua caliente sanitaria necesaria en una casa. Los modelos más grandes son capaces de aportar calefacción central a piscinas y resultan muy rentables. Las estufas de leña por lo general tienen una producción de 12.6 kilovatios. Los relacionados con calefacción central y

sistema de agua caliente son generalmente más grandes, a los 15 kilovatios.



**Figura 17 Caldero para madera y agua ardiente.**

- **Quemadores de Biomasa – Calderas de Pellets de Madera**

Las calderas de pellets de madera son un desarrollo reciente de la madera, la calefacción de pellets produce desde 15 kilovatios hasta 500 kilovatios. Los pellets de madera están hechos a partir de los subproductos de los aserraderos. Los sistemas de calderas domésticas son controlados por computadora para optimizar la combustión y lograr niveles de eficiencia de alrededor del 90 por ciento. Para superar los problemas de almacenamiento de madera y de alimentación regular, la mayoría de calderas de pellets incorporan tolvas automáticas de alimentación, que sólo requieren rellenado cada 2 o 3 días.



**Figura 18 Pellets de madera extruidos**



Los costos de combustible en gran parte dependen de la distancia que existe entre el proveedor de madera y el consumidor final. La madera es normalmente hasta el 30 por ciento más barata que el petróleo o el gas y hay considerables beneficios si la madera es de origen local.

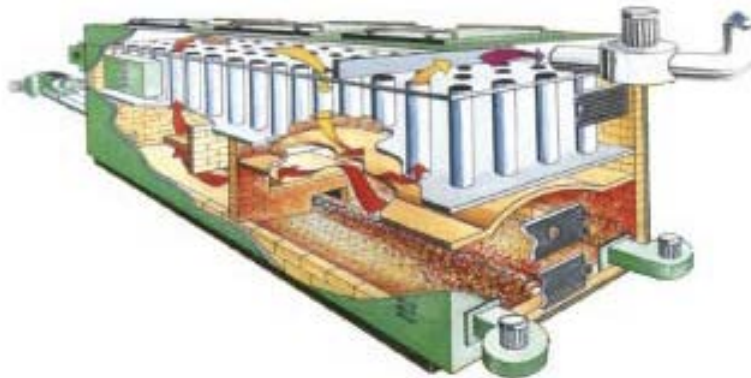
La longitud del periodo de recuperación dependerá del combustible que se sustituye y el tipo de leña utilizada. La Recuperación de la inversión será más favorable en un área que no tiene una red de suministro de gas natural.

### **3.8 TIPOS DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

Es preciso saber que las cámaras de combustión parten de un proceso térmico en el cual la transferencia de calor depende de la energía liberada durante la combustión, la cámara de combustión juega un papel importante, se la puede definir como una maquina térmica en la cual se realiza parte de la transformación de la energía química, contenida en los enlaces moleculares del combustible, en energía térmica. Por definición, la eficiencia de un proceso de combustión depende de diversos factores, como: el nivel térmico y la turbulencia, de la estequiometria y de la homogeneidad espacial de la mezcla reactiva. (Ing.)

Dentro de la clasificación de cámaras de combustión las más nombradas son:

- De pulverización mecánica, o por presión:
- De pulverización asistida, o por inyección de fluido auxiliar
- Rotativos, de pulverización centrífuga dentro de la cámara
- De flujo paralelo, con mezcla por turbulencia (a través de una Turbina)
- Cámaras que utilizan carbón pulverizado
- Cámara de combustión tipo ciclón
- Cámaras de combustión de lecho fluido



**Figura 19 Cámara de combustión mezclada por turbulencia a través de una turbina de flujo paralelo.**

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 4.1 TIPO DE MÁQUINA

La máquina para realizar la pirolisis por compactación aprovecha el principio de intensificador de presión con el cual se puede incrementar a presiones superiores o a cien veces la presión inicial de entrada, la energía mecánica para la extrusión de biomasa será producida por un embolo, así como también para mejorar velocidad de salida del líquido se suministrara energía térmica por medio de resistencias eléctricas en forma singular. Esta máquina en forma experimental permitirá obtener varios combustibles tales como: briquetas, aceite y trazas de gas de síntesis, que puede aprovechar materias primas de diversas características especialmente oleaginosas.

Generalmente en un proceso de compresión de biomasa es necesaria la alta presión y alta temperatura. En el proceso de obtención de los multi combustibles por ejemplo la forma a la que el material debe ser extruido implica que debe existir termo-fluencia plástica de la biomasa. El contenido de lignina (un polímero presente en las paredes celulares de organismos vegetales) que se produce naturalmente en la biomasa es liberado en la máquina extrusora por su alta presión y alta temperatura, la lignina por ejemplo actúa como pegamento natural en el proceso de fabricación de briquetas de biomasa, por tanto vinculantes, comprimiendo la biomasa y formando briquetas de alta densidad entre unos 1100 a 1300 kg/m<sup>3</sup>.

Las máquinas que se describen a continuación si no son las mismas entre ellas cumplen semejantes condiciones las cuales conllevan a la construcción de la máquina extrusora de multi combustibles que se desea, puesto que en ella existirá una tolva de carga, un embolo o pistón extrusor, un cilindro donde se procesan los productos, acoples a un porto hidráulico, además un sistema de calentamiento por resistencias y un colector del producto terminado.

A continuación se describen las máquinas similares con algunos de sus componentes:

### 1. Extrusora Semiautomática de Pistón PF-33 Modelo 1279

(Equipament, s.f.)



**Figura 20 Extrusora semiautomática de pistón PF-33**

La extrusora semiautomática de pistón PF-33 modelo 1279 tiene las siguientes características:

- Construcción en acero inoxidable y teflón
- Operación en forma manual o semiautomática
- Motor de 110V y 60 Hz
- Capacidad de la tolva 1.5 kg a 3.5 kg
- Dimensiones 51"x 28"x 53".

Aplicación:

1. Preparación de embutidos.

## 2. Extrusora con Pistón Horizontal (scamex, s.f.)



**Figura 21 Extrusora con pistón horizontal marca SCAMEX**

La máquina de extrusión con émbolo horizontal se fabrica con las siguientes características:

- El volumen de transferencia de 50 cc a 5000 cc.
- Presión de hasta 500 bares.
- Temperatura de hasta 400 °C.
- Unidad hidráulica central con bomba sumergible.
- Velocidad regulable con servo válvula proporcional.
- Extrusor de cabeza con control de temperatura.
- Especificaciones de material del equipo de acero inoxidable, adecuado para proceso.
- Control de Encendido y apagado con pulsadores
- Control de Temperatura y presión mediante PLC.
- Equipo y herramientas de montaje y mantenimiento se incluidos
- Conexión de 220/110 V.

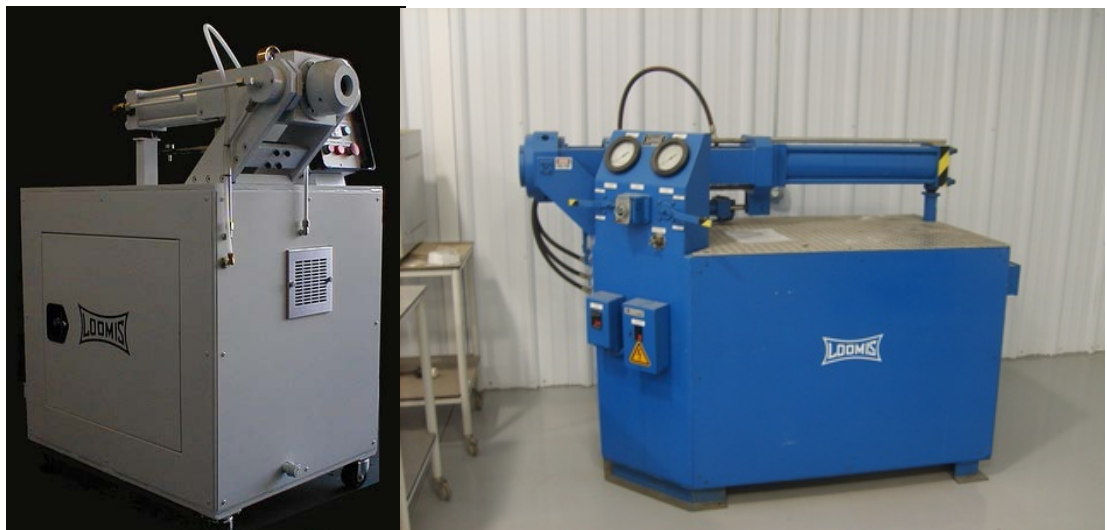
Aplicación:

1. Preparación de materiales para laboratorios químicos

### 3. Loomis Machinery. - Extrusoras de Pistón (LOOMIS , s.f.)

Loomis es la marca de maquinarias especializadas en extrusoras de pistón que son ampliamente usadas para producir polvo cerámico, carburo, metal en polvo, carbón y materiales de ferrita. Las extrusoras de pistón utilizan un ariete hidráulico, un cilindro de material de trabajo en caliente, un sistema de vacío para la prensa y cilindros de extrusión, tubos, varillas.

- Las configuraciones estándar de las máquinas son de: 12 - 800 Toneladas
- Aplicaciones especiales de hasta 1000 toneladas
- Las piezas de producción dependen del dado extrusor en tamaño, forma o según especificación del cliente
- Control preciso de la velocidad de extrusión y de presión
- PLC - Pulsador
- Facilidad de operación y mantenimiento



**Figura 22 LOOMIS – Extrusoras de plástico horizontales con accionamiento hidráulico.**

Aplicación:

1. Utilizadas para producir polvo cerámico, carburo, metal en polvo, carbón y materiales de ferrita.

#### **4.1.1 PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACIÓN.**

Se pueden utilizar diversas alternativas para compactar la biomasa:

- Compactación por accionamiento hidráulico
- Compactación por accionamiento electrohidráulico
- Compactación por medio de un Tornillo de potencia

#### **4.1.2 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.**

Se pueden utilizar una diversidad de métodos de calentamiento entre los cuales los más importantes son:

- Por medio de resistencias eléctricas (efecto Joule)
- Mediante combustión de gas por inducción con llama oxiacetilénica

### 4.1.3 MATRIZ DE SELECCIÓN DE TIPOS DE MÁQUINAS

**Tabla 7**

**Tabla de ponderación tipos de máquinas.**

<b>Aspectos</b>		
<b>Aspecto</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observación</b>
Técnico (50% ponderación general)	5 – 10	Considerando aspectos técnicos relevantes como grado de complejidad, facilidad de fabricación.
Económicos (35% ponderación general)	5 – 10	Considerando cual es el costo más importante
Complementarios (15% ponderación general)	6 – 2	Considerando aspectos complementarios referentes a la post construcción

<b>PONDERACIÓN</b>	
<b>Mucho más importante=</b>	9
<b>Más importante=</b>	7
<b>Igual de Importante=</b>	5
<b>Menos importante=</b>	3
<b>Mucho menos importante=</b>	1

La matriz de selección se encuentra en la página siguiente:



Tabla 8

## Matriz de decisión del tipo de máquina.

ASPECTOS	PONDERACIÓN (Val. Máx.)	ALTERNATIVAS							
		Según el Accionamiento			Según su Funcionamiento		Según el Método de Extrusión (Modelos existentes)		
		Accionamiento Electromecánico	Accionamiento Manual	Accionamiento Hidráulico	Extrusión en Caliente	Extrusión en Frío	Extrusora Semiautomática de Pistón	Extrusora de Pistón Horizontal	Loomis Machinery - Extrusora de Pistón
<b>TÉCNICOS</b>	<b>50</b>								
Grado de Complejidad	10	6	5	8	6	2	8	2	3
Facilidad de Fabricación y Montaje	8	5	6	7	8	5	1	8	1
Disponibilidad de Materiales	5	4	4	4	5	4	3	5	2
Facilidad de Operación y Mantenimiento	6	5	4	5	3	1	4	6	4
Funcionalidad	6	6	6	3	6	4	6	6	6
Versatilidad	7	6	5	6	7	6	6	6	7
Adaptabilidad al Procesamiento de la biomasa	8	6	4	7	8	7	8	8	4
<b>SUBTOTAL =</b>		<b>38</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>41</b>	<b>27</b>
<b>ECONÓMICOS</b>	<b>35</b>								
Costo de Materiales	10	5	5	6	6	4	3	8	3
Costo de Fabricación y Montaje	8	5	4	5	4	3	3	8	2
Costos de Operación	5	3	3	2	5	6	4	5	2
Costo de Mantenimiento	6	4	3	4	3	4	2	3	2
Costo de importación de componentes	6	4	4	6	6	6	1	3	1
<b>SUBTOTAL =</b>		<b>21</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>13</b>	<b>27</b>	<b>10</b>

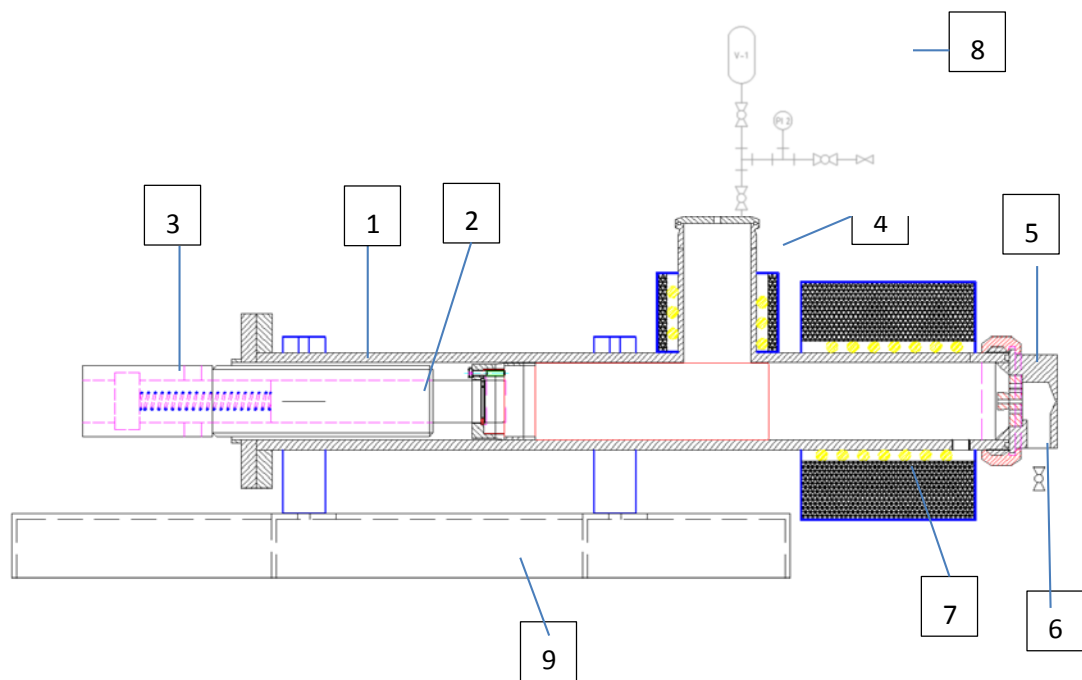
CONTINÚA

<b>COMPLEMENTARIOS</b>	<b>15</b>								
Vida Útil	6	5	5	6	2	2	5	5	
Depreciación	5	4	3	4	5	5	5	5	
Seguridad de uso	2	1	1	2	2	1	1	2	1
Facilidad de Transporte	2	1	1	2	2	1	1	2	1
<b>SUBTOTAL =</b>		11	10	14	11	9	12	14	2
<b>TOTAL =</b>	<b>100</b>	<b>70</b>	<b>63</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>61</b>	<b>56</b>	<b>82</b>	<b>39</b>

Los Valores que se dan en la matriz en cada caso corresponden a valores en **Aspectos Técnicos** por ejemplo si el valor es alto significa que es FÁCIL un número bajo representa lo contrario COMPLEJO. En **Aspectos Económicos** un valor alto representa BARATO y un valor bajo representa MUY COSTOSO. Y en los **Aspectos Complementarios** un valor alto representa Bueno un valor medio regular, y un valor bajo Malo.

Después de analizar los aspectos técnicos, económicos y complementarios de las distintas máquinas que son posibles construir para realizar el proceso de extrusión de la biomasa y observando en la tabla 4.2 que según el tipo de construcción la mejor opción es una extrusora de pistón horizontal, con un accionamiento de forma hidráulica, se llega a la conclusión que la máquina que será construida deberá tener un porto unido a un pistón dentro de un cilindro puesto que el presente proyecto es una aplicación experimental debido a que el proceso puede ser interrumpido y que no se necesitan grandes velocidades, además se considera que la extrusión es en caliente.

#### 4.1.4 COMPONENTES PRINCIPALES.



**Figura 23 Esquema general de la Micro Extrusora.**

1. Cilindro principal
2. Embolo o pistón
3. Mecanismo de extrusión compuesto por: Porto hidráulico, sistema de avance y retroceso del pistón
4. Tolva o cilindro de Carga
5. Dado Extrusor o separador
6. Tapa del Cilindro principal
7. Resistencias eléctricas de calentamiento del cilindro principal
8. Tanque de recolección de gases
9. Bastidor y mesa soporte.

## 4.2 MATERIA PRIMA

### 4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE BIOMASA

La biomasa presenta la particularidad de ser combustible de baja densidad energética. Esto se evidencia por una parte, en su densidad

aparente, varias veces inferior a la del carbón, y en su poder calorífico, unas dos veces inferior a la de un carbón de buena calidad y más de tres veces a las del gasóleo. Todo ello unido a la producción dispersa y por lo general estacional de la biomasa, determina costos relativamente altos de transporte y almacenaje de la energía. La menor densidad de la biomasa supone también un incremento de costos en los procesos de conversión debido al mayor tamaño específicos de los equipos y al volumen de combustible por unidad energética producida que es necesario manejar en una planta.

La utilización energética de la biomasa presenta importantes barreras, tanto técnicas como no técnicas, de las cuales cabe señalar la FALTA DE INFORMACIÓN SOBRE LA BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO, razón por la que se hace muy difícil la selección de la materia prima adecuada para la maquina micro extrusora experimental de biomasa.

A continuación se presenta una tabla con características de diversas biomosas:

**Tabla 9**  
**Características de la biomasa.**

<b>BIOMASA</b>	<b>%m<sub>m</sub></b>	<b>%m<sub>p</sub></b>	<b>%m<sub>f</sub></b>	<b>%m<sub>c</sub></b>	<b>%m<sub>a</sub></b>
Manzana	84.4	0.2	0.6	14.5	0.3
Maní	3	30	50	15	2
Kikuyo	95.5	0.9	0.1	2.9	0.6
Palma africana	9.5	8	44	36.6	1.9

**m<sub>m</sub>: % de agua; m<sub>p</sub>: % de proteína; m<sub>f</sub>: % de grasa; m<sub>c</sub>: % de  
carbohidratos; m<sub>a</sub>: % de cenizas**

Fuente: Transmisión del calor en el procesamiento de alimentos, Introducción a la ingeniería de alimentos, Pág. 154.

A continuación se presentan poderes calóricos de diversas biomosas

**Tabla 10**  
**Poder calórico de diversas biomas**

<b>BIOMASA</b>	<b>PODER CALÓRICO MEDIO (KJ/Kg)</b>
Paja seca de trigo	12500
Paja seca de cebada	13400
Madera verde	14400
Cascara de arroz	13800
Celulosa	16500
	<b>PODER CALÓRICO SUPERIOR (KJ/Kg)</b>
Cascara de almendras	36800
Cascara de arroz	15300
Cascara de pipa de girasol	17500

Fuente: Libro "Termodinámica y Termotecnia", Capítulo Combustibles, Poder calórico.

A continuación se describen las posibles materias primas que serán utilizadas en la micro extrusora para la obtención de biocombustibles, cabe señalar que ha sido muy complicado obtener información y de la que más se ha sido posible es de la palma africana, por lo cual a priori será la materia prima seleccionada.

- **Palma Africana**

La palma aceitera, conocida también como palma africana, es una palmera tropical que crece en climas cálidos en la franja ecuatorial de la Tierra. Puede crecer entre los 8.3 y 20 metros de altura

**Tipos de suelo:** El cultivo de la palma africana requiere suelos francos o franco-arcillosos, sueltos y profundos. Deben ser suelos de topografía plana o ligeramente ondulada con buena permeabilidad y drenaje. El nivel de fertilidad debe ser de medio a alto

**Requerimientos de agua:** La palma africana necesita grandes cantidades de agua, los rangos óptimos de precipitación anual se encuentran entre los

2000 - 2500 mm, bien distribuidos durante todo el año y ningún mes menor a los 100 mm

**Clima:** El hábitat de la palma africana es desde sabanas hasta bosques lluviosos. Las temperaturas máximas promedio en las que crece son de 29 a 33 grados centígrados y las mínimas de 22 a 24 grados centígrados.

**Arquitectura del cultivo:** La población óptima se estima en 143 plantas por hectárea, con distanciamientos de 9 por 7.8 m. En algunas regiones de África se realizan plantaciones de 138 plantas/ha, pero con parcelación triangular.

**Cosecha:** La propagación se realiza por semilla. El ciclo de producción empieza al tercer año, alcanza el máximo de producción entre los 7 y los 10 años. La recolección es manual y se realiza, generalmente, una vez por semana. Los racimos se deben recolectar cuando poseen el grado de madurez correcto

**Tabla 11**

**Poder calórico de productos de palma africana**

<b>PRODUCTO</b>	<b>PODER CALÓRICO (MJ/Kg)</b>
Aceite	37
Racimos vacíos de fruta	6
Fibras	10
Cáscaras de semillas	18.8

Fuente: Cultivos para la Producción Sostenible de Biocombustibles Modulo V Caña de Azúcar- Miguel Ángel Ramírez

- **Kikuyo**

**Tabla 12**  
**Composición Química del Kikuyo**

	PC	EE	Cen	FDN	FDA	CNE
Porcentaje de la MS						
Promedio	20.5	3.63	10.6	58.1	30.3	13.4
Máximo	27.1	4.71	13.9	66.9	32.8	17.2
Mínimo	15.4	1.63	8.65	51.7	28.3	8.93
C. V., %	15.9	22.6	16.1	6.73	3.95	18.7
n	39.0	27.0	27.0	36.0	19.0	23.0

<sup>1</sup> PC = proteína cruda; EE = extractor etéreo; Cen = cenizas; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNE = carbohidratos no estructurales (CNE = 100 – (PC + EE + FDN + Cen) + PCIDN, NRC 2001).

Fuente: Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia

#### 4.2.2 TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO

**Tabla 13**  
**Evolución de la carbonización durante la pirolisis de biomasa.**

TEMPERATURA	REACCIÓN Y PRODUCTOS
Hasta 200 C	Periodo de secado pérdida de humedad y degradación inicial de lignina y hemicelulosa
200 a 280 C	Degradación de componentes menos estables, producción CO <sub>2</sub> CO, vapor H <sub>2</sub> O, ácido acético y CH <sub>4</sub>
280 a 300 C	Reacciones exotérmicas, materia prima quemada, fuerte producción de gases de ácido acético, alcohol metílico fracciones leves de alquitrán
300 a 600 C	Disminuye el volumen de gases, fracciones medianas y pesadas de alquitrán, producción de carbón
Sobre 600 C	Fase de hidrogeno, disociación del carbón, gases con elevado contenido de hidrogeno

Fuente: Utilización energética de residuos vegetales; INIAP; Producción y Aprovechamiento energético de biomasa.



### 4.2.3 FORMA DE OBTENCIÓN

- Cultivos energéticos
- Cultivos alimentarios
- Bosques primarios
- Reforestación
- Residuos vegetales agroindustriales
- Residuos vegetales domésticos

### 4.2.4 MATRIZ DE SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

**Tabla 14**

**Ponderación para selección de materia prima.**

<b>ASPECTOS</b>		
<b>Aspecto</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Observación</b>
Físicos (40% ponderación general)	5 - 11	Considerando aspectos físicos que son las propiedades que determinan la calidad del biocombustibles.
Energéticos (40% ponderación general)	5 - 16	Considerando la cantidad de energía que se obtendría del residuo de biomasa
Complementarios (20% ponderación general)	2 - 5	Considerando aspectos de dificultades que ocasionaría la biomasa tanto para la operación del equipo como el impacto alimentario y ambiental

PONDERACIÓN	
Mucho más importante =	9
Más importante =	7
Igual de Importante =	5
Menos importante =	3
Mucho menos importante =	1

La matriz de selección de materia prima se encuentra en la página siguiente:

**Tabla 15**

**Matriz de decisión de la biomasa a ocupar**

ASPECTOS	PONDERACION				
		A	B	C	
		Residuos de usos domesticos (Cascaras manzana, haba, etc)	Palma africana residuos	Residuos de podas (pasto, Kikuyo)	
<b>FISICOS</b>	<b>40</b>				
Contenido de humedad	5	3	1	4	
Contenido de carbohidratos	13	7	13	4	
Contenido de proteinas	11	4	9	4	
Forma de la biomasa (residuo)	11	9	6	9	
<b>SUBTOTAL</b>		<b>23</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>73</b>
<b>ENERGETICOS</b>	<b>40</b>				
Poder calorico	16	16	12	16	
Densidad energetica	11	7	11	7	
Valorizacion energetico	8	3	8	3	
Ganancia energetica	5	2	5	2	
		28	36	28	92
<b>COMPLEMENTARIOS</b>	<b>20</b>				
Facilidad de preparacion	3	2	2	2	
Ciclo de cultivo/Posibilidad de suministro	2	2	1	2	
Facilidad de compactacion	2	2	1	1	
Subproductos (Multicombustibles)	5	5	2	4	
Seguridad alimentaria	4	4	1	4	
Impacto ambiental	4	4	1	4	
		19	8	17	44
<b>PUNTUACION TECNICA TOTAL</b>		<b>70</b>	<b>73</b>	<b>66</b>	

Después de analizar los aspectos técnicos, económicos y complementarios de las variedades de biomasa (materia prima) que se puede utilizar se llegó a la conclusión que la primera opción a ser utilizada es los residuos vegetales de uso industria (palma africana).

## CAPITULO 5

## DISEÑO DEL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES

## 5.1 RESUMEN DE VARIABLES

Tabla 16

## Resumen de Variables

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VARIABLE
Aceleración de la gravedad	$m/s^2$	g
Altura del tanque en pies	Pies	$h_{pies}$
Ancho de la cara de la caja zona de calentamiento	m	$Y_c$
Área exterior de transferencia de calor	$m^2$	$A_o$
Área interior de transferencia de calor	$m^2$	$A_i$
Calor específico del acero	$J/Kg \text{ } ^\circ K$	$C_{p_a}$
Calor por unidad de tiempo externo	W	$Q_{o\_punto}$
Calor por unidad de tiempo interno	W	$Q_{i\_punto}$
Calor por unidad de tiempo necesario	W	$Q_{N\_punto}$
Calor por unidad de tiempo total necesario	W	$Q_{T\_punto}$
Calor que absorbe el cilindro	KJ	$Q_{cil}$
Calor que absorbe la tapa y embolo	KJ	$Q_{tap\_emb}$
Cantidad de agua a remover	Kg	$\Delta W$
Carga máxima de materia prima (biomasa) en la zona de calentamiento	Kg	$m_{cmax}$
Coefficiente de convección externo	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	$h_o$
Coefficiente de convección interno	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	$h_i$

CONTINÚA

Coeficiente de dilatación volumétrica como gas ideal por ser vapor	$1/^{\circ}\text{K}$	B
Coeficiente de radiación interno	$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$	$h_{ri1}$
Coeficiente de radiación interno	$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$	$h_{ri}$
Coeficiente global de transferencia de calor interno	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$U_i$
Constante de conductividad térmica de la biomasa	$\text{W}/\text{m }^{\circ}\text{C}$	$k_b$
Constante de conductividad térmica del acero a $T_s$	$\text{W}/\text{m }^{\circ}\text{C}$	$k_a$
Constante de conductividad térmica del aislante térmico (Supermag 1200)	$\text{W}/\text{m }^{\circ}\text{C}$	$k_{ais}$
Constante de conductividad térmica del vapor de agua a $T_m$	$\text{W}/\text{m }^{\circ}\text{C}$	K
Constante de Stefan Volzman	$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4$	$\sigma$
Corrosión admisible (tanque recolector)	cm	CA
Densidad de biomasa	$\text{Kg}/\text{m}^3$	$\rho$
Densidad del acero	$\text{Kg}/\text{m}^3$	$\rho_a$
Densidad del vapor de agua a temperatura igual a $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Kg}/\text{m}^3$	$\rho_{a100}$
Densidad del vapor de agua a $T_m$	$\text{Kg}/\text{m}^3$	$\rho_{a148.1}$
Diámetro efectivo del embolo	m	$\Phi_{ef\_emb}$
Diámetro exterior (tanque recolector)	m	$\phi_e$
Diámetro exterior de la tapa	m	$\Phi_e$
Diámetro interior de la tapa	m	$\Phi_i$
Diámetro interior del cilindro principal	m	$D_i$

CONTINUA

Distancia que recorre el embolo	m	X
Eficiencia de la junta (tanque recolector)	Adimensional	E
Eficiencia de la junta soldada	Adimensional	M
Emitancia del acero	Adimensional	$\epsilon$
Entalpia en el estado final del agua dentro de la biomasa	KJ/Kg	$h_2$
Entalpia en el estado inicial del agua dentro de la biomasa	KJ/Kg	$h_1$
Error que se produce al comparar energías internas	%	Error
Esfuerzo del material cuerpo y cabezas (tanque recolector)	PSI	S
Espesor de la pared acero inoxidable	m	$L_{in}$
Espesor de la pared aislante	m	$L_A$
Espesor de las cabezas (tanque recolector)	mm	$t_1$
Espesor del cilindro principal	mm	$t$
Espesor del cuerpo (tanque recolector)	mm	$t_{cuerpo}$
Esfuerzo longitudinal	$Kg/cm^2$	$\sigma_L$
Esfuerzos principales	$Kg/cm^2$	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$
Esfuerzo tangencial	$Kg/cm^2$	$\sigma_\theta$
Esfuerzo radial	$Kg/cm^2$	$\sigma_r$
Esfuerzo de Von Mises	$Kg/cm^2$	$\sigma_{VM}$
Factor de seguridad	Adimensional	FS
Factor de seguridad por cortante máximo	Adimensional	FS <sub>1</sub>
Factor de seguridad por cortante puro	Adimensional	FS <sub>2</sub>
Fuerza a la que se produce el pandeo	N	$F_p$
Fuerza de aplastamiento necesaria	N	$F_a$
Inercia de la sección circular del embolo	$mm^4$	$I_e$

CONTINUA

Intensidad de corriente	A	I
Longitud de la tapa	m	$L_{tap}$
Longitud de pandeo del embolo	m	$L_p$
Longitud efectiva del cilindro	m	$L_{cil.efectiva}$
Longitud del embolo	m	$L_{emb}$
Longitud efectiva (tanque recolector)	pulg	$L_{ss}$
Longitud efectiva del embolo	pulg	$L_e$
Longitud térmica efectiva para el cilindro principal	m	L
Masa de la tapa	Kg	$m_{tap}$
Masa del cilindro	Kg	$m_{cil}$
Masa del embolo	Kg	$m_{emb}$
Masa húmeda de biomasa	Kg	$m_H$
Masa seca de biomasa	Kg	$m_s$
Módulo de elasticidad del acero	MPa	E
Nivel de líquido (tanque recolector)	%	NL
Numero de Grashoff	Adimensional	$G_{RI}$
Numero de Nuselt	Adimensional	$N_{ud}$
Numero de prandtl a $T_m$	Adimensional	$P_r$
Porcentaje de humedad final	%	$X_{wf}$
Porcentaje de humedad inicial	%	$X_{wi}$
Potencia nominal de la resistencia eléctrica	W	$Q_{total\_punto}$
Potencia requerida por la maquina	W	Pot
Presión al final del proceso (30 atm)	Atm	$P_f$
Presión al inicio del proceso ( 1 atm)	Atm	$P_i$
Presión de diseño	PSI	$P_d$
Presión de diseño (tanque recolector)	PSI	$P_{d\_tr}$
Presión interna de operación	Atm	$P_o$

CONTINUA

Presión MAWP, caliente y corroído (cuerpo tanque recolector)	PSI	$MAWP_{ccc}$
Presión MAWP, frío y nuevo (cuerpo tanque recolector)	PSI	$MAWP_{fnc}$
Radios en el cilindro principal	m	$r_i, r_1$
Relación longitud diámetro	Adimensional	r
Resistencia a la fluencia del acero ASTM A106 Gr. A a temperatura de trabajo	Kg/cm <sup>2</sup>	$S_y$
Resistencia eléctrica	V/A	R
Resistencia térmica del recubrimiento de la caja (acero inoxidable)	°C/W	$R_{in}$
Resistencia térmica pared aislante térmico	°C/W	$R_A$
Resistencia térmica por conducción de biomasa	°C/W	$R_b$
Resistencia térmica por conducción de biomasa según la variación del radio	°C/W	$R_n$
Resistencia térmica por conducción en la pared del cilindro de acero	°C/W	$R_{cil}$
Resistencia térmica por convección entre el cilindro y biomasa	°C/W	$RC_{p_b}$
Resistencia térmica por convección hacia el exterior del sistema	°C/W	$RC_{e_{amb}}$
Resistencia térmica por radiación con el medio exterior	°C/W	$Rr_{e_{amb}}$
Resistencia térmica por radiación entre el cilindro y biomasa	°C/W	$Rr_{p_b}$
Sumatoria de resistencias térmicas hacia el exterior	W/m <sup>2</sup> °C	$U_{top}$
Temperatura ambiente	°C	$T_{amb}$

CONTINUA



Temperatura de agua en el interior al inicio de carga	°C	$T_1$
Temperatura de diseño (tanque recolector)	°C	$T_d$
Temperatura de la resistencia eléctrica	°C	$T_r$
Temperatura de saturación del vapor de agua	°C	$T_{sat}$
Temperatura del cilindro principal	°C	$T_s$
Temperatura en la parte exterior del cilindro	°C	$T_p$
Temperatura media entre la temperatura media volumétrica y la temperatura de la pared del cilindro principal	°C	$T_{mr}$
Temperatura media volumétrica (a esta temperatura el contenido de humedad de la materia prima será vapor)	°C	$T_m$
Temperatura necesaria para la pirolisis	°C	$T_2$
Temperatura que soporta la piel	°C	$T_{spiel}$
Trabajo realizado por el embolo sobre el fluido	°C	$W_b$
Variación de energía interna necesaria para llegar a la presión de 30 atm	KJ	$\Delta U_n$
Variación de energía interna que se obtiene de la maquina	KJ	$\Delta U_r$
Variación de entalpia necesaria para llegar a una presión de 30 atm	KJ	$\Delta H_n$
Variación del radio para procedimiento de obtención de resistencia térmica por conducción de biomasa	M	$r_n$

CONTINUA

Velocidad del viento	m/s	V
Viscosidad cinemática a la $T_m$	m/s <sup>2</sup>	V
Voltaje red publica	V	Volt
Volumen al inicio del proceso	m <sup>3</sup>	V <sub>1</sub>
Volumen de la tapa	m <sup>3</sup>	V <sub>tap</sub>
Volumen del cilindro	m <sup>3</sup>	V <sub>cil</sub>
Volumen del embolo	m <sup>3</sup>	V <sub>emb</sub>
Volumen en la cámara de calentamiento	m <sup>3</sup>	V <sub>2</sub>

## 5.2 RESUMEN DE FORMULAS

Volumen en la cámara de combustión

$$V_2 = \pi \cdot r_i^2 \cdot L \quad (5.1)$$

Carga máxima de materia prima (biomasa) en la zona de calentamiento

$$m_{cmax} = v \cdot \rho \quad (5.2)$$

Masa húmeda de biomasa

$$m_H = m_{cmax} \quad (5.3)$$

Masa seca de biomasa

$$m_S = m_H \cdot \frac{100 - X_{wi}}{100} \quad (5.4)$$

Cantidad de agua a remover

$$\Delta W = m_S \cdot \left( \frac{X_{wi}}{100 - X_{wi}} - \frac{X_{wf}}{100 - X_{wf}} \right) \quad (5.5)$$

Temperatura media volumétrica a la que el contenido de humedad de la materia prima será vapor

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (5.6)$$

Coefficiente de expansión

$$\beta = \frac{1}{T_m - 273} \quad (5.7)$$

Numero de Grashoff

$$G_{rL} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_m) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (5.8)$$

Diámetro interior del cilindro principal

$$D_i = 2 \cdot r_i \quad (5.9)$$

Relación longitud – diámetro del cilindro principal

$$r = \frac{L}{D_i} \quad (5.10)$$

Número de Nuselt

$$N_{ud} = 0.55(G_{rL} \cdot P_r)^{1/4} \quad (5.11)$$

Coefficiente de convección interno

$$h_i = \frac{N_{ud} \cdot k}{D_i} \quad (5.12)$$

Coefficiente de radiación interno 1

$$h_{ri1} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \frac{[(T_s+273)^4 - (T_{sat}+273)^4]}{T_s - T_{sat}} \quad (5.13)$$

Temperatura media entre la temperatura media volumétrica y la temperatura de pared del cilindro principal

$$T_{mr} = \frac{T_m + 273 + T_s + 273}{2} \quad (5.14)$$

Coefficiente de radiación interno 2

$$h_{ri} = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{mr} \quad (5.15)$$

Resistencia térmica por convección entre el cilindro y biomas

$$R_{c_{p_b}} = \frac{1}{2\pi \cdot r_i \cdot L \cdot h_i} \quad (5.16)$$

Resistencia térmica por radiación entre el cilindro y biomasa

$$R_{r_{p_b}} = \frac{1}{2\pi \cdot r_i \cdot L \cdot h_{ri}} \quad (5.17)$$

Constante de conductividad térmica de la biomas

$$k_b = 0.148 + 0.00493X_{wi} \quad (5.18)$$

Resistencia térmica por conducción en la pared del cilindro de acero

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{2\pi \cdot k_a \cdot L} \quad (5.19)$$

Coefficiente global de transferencia de calor interno

$$U_i = \frac{1}{2\pi \cdot r_1 \cdot L \left[ \frac{1}{\left( \frac{1}{R_{c_{p_b}}} + \frac{1}{R_{r_{p_b}}} + \frac{1}{R_{d_b}} \right)} + R_{cil} \right]} \quad (5.20)$$

Ancho de la pared de transferencia de calor en la caja cuadrada

$$Y_c = 2 \cdot r_1 + 2 \cdot \phi_{res} \quad (5.21)$$

Resistencia térmica pared plana aislamiento térmico

$$R_A = \frac{L_A}{k_{ais} \cdot L \cdot Y_c} \quad (5.22)$$

Resistencia térmica pared plana recubrimiento caja (acero inoxidable)

$$R_{in} = \frac{L_{in}}{k_a \cdot L \cdot Y_c} \quad (5.23)$$

Coefficiente de convección externo

$$h_o = 5.7 + 3V \quad (5.24)$$

Resistencia por convección hacia el exterior del sistema

$$R_{c_{e\_amb}} = \frac{1}{h_o \cdot Y_c \cdot L} \quad (5.25)$$

Coefficiente de radiación externo

$$h_{ro} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \frac{[(T_{spiel} + 273)^4 - (T_{amb} + 273)^4]}{T_{spiel} - T_{amb}} \quad (5.26)$$

Resistencia eléctrica por radiación con el medio exterior

$$R_{r_{e\_amb}} = \frac{1}{Y_c \cdot L \cdot h_{ro}} \quad (5.27)$$

Sumatoria de resistencias térmicas hacia el exterior

$$U_{top} = \frac{1}{\left[ R_{d_A} + R_{in} + \frac{1}{\left( \frac{1}{R_{c_{e\_amb}}} + \frac{1}{R_{r_{e\_amb}}} \right)} \right] \cdot (4Y_c L)} \quad (5.28)$$

Área exterior de transferencia de calor

$$A_o = Y_c \cdot L \quad (5.29)$$

Área interior de transferencia de calor

$$A_i = 2\pi \cdot r_i \cdot L \quad (5.30)$$

Calor por unidad de tiempo hacia el exterior

$$Q_{o\_punto} = A_o \cdot U_{top} \cdot (T_r - T_{amb}) \quad (5.31)$$

Calor por unidad de tiempo hacia el interior

$$Q_i = A_i \cdot U_i \cdot (T_r - T_{amb}) \quad (5.32)$$

Volumen del cilindro

$$V_{cil} = \pi(r_2^2 - r_i^2) \cdot L_{cil} \quad (5.33)$$

Volumen de la tapa

$$V_{tap} = \frac{\pi}{4} \cdot \phi_{emb}^2 \cdot L_{emb} \quad (5.34)$$

Masa del cilindro

$$m_{cil} = V_{cil} \cdot \rho_a \quad (5.35)$$

Masa de la tapa

$$m_{tap} = V_{tap} \cdot \rho_a \quad (5.36)$$

Masa del embolo

$$m_{emb} = V_{emb} \cdot \rho_a \quad (5.37)$$

Calor que absorbe el cilindro

$$Q_{cil} = m_{cil} \cdot \frac{Cp_a}{4.184} \cdot (T_s - T_{amb}) \quad (5.38)$$

Calor que absorbe la tapa y el embolo

$$Q_{tap\_emb} = (m_{tap} + m_{emb}) \cdot \frac{Cp_a}{4.184} \cdot (T_2 - T_{amb}) \quad (5.39)$$

Calor específico de la biomasa

$$Cp_{bio} = 1.424m_c + 1.549m_p + 1.675m_f + 0.837m_a + 4.187m_m \quad (5.40)$$

Calor por unidad de tiempo necesario

$$Q_{N\_punto} = Q_{i\_punto} + Q_{o\_punto} + \frac{1000}{t} \cdot (Q_{cil} + Q_{tap\_emb}) \quad (5.41)$$

Calor por unidad de tiempo total necesario

$$Q_{T\_punto} = 1.2Q_{N\_punto} \quad (5.42)$$

Intensidad de corriente

$$I = \frac{Q_{total\_punto}}{Volt} \quad (5.43)$$

Resistencia eléctrica

$$R = \frac{Volt^2}{Q_{total\_punto}} \quad (5.44)$$

Presión de diseño

$$P_d = 1.5P_o \quad (5.45)$$

Volumen al inicio del proceso

$$V_1 = \pi \cdot r_i^2 (L + x) \quad (5.46)$$

Variación de entalpia necesaria para llegar a una presión de 30 atm

$$\Delta H_n = m_H \cdot Cp_{bio} (T_2 - T_1) + \Delta W (h_2 - h_1) \quad (5.47)$$

Trabajo realizado por el embolo sobre el fluido

$$W_b = \frac{F_a}{\pi \cdot r_i^2 \cdot 1000} (V_2 - V_1) \quad (5.48)$$

Variación de energía interna necesaria para llegar a una presión de 30 atm

$$\Delta U_n = \Delta H_n - W_b \quad (5.49)$$

Variación de energía interna que se obtiene de la maquina

$$\Delta U_r = \frac{1.2Q_{i.punto.t}}{1000} - W_b \quad (5.50)$$

Error que se produce al comparar la energía interna necesaria y la que se obtiene de la máquina

$$Error = \left| \frac{\Delta U_r - \Delta U_n}{\Delta U_n} \right| * 100 \quad (5.51)$$

Temperatura en la parte exterior del cilindro

$$T_p = \frac{T_r - T_s}{2} \quad (5.52)$$

Esfuerzo radial en el cilindro principal

$$\sigma_r = \frac{P_{int} \cdot r_{int}^2 - P_{ext} \cdot r_{ext}^2}{r_{ext}^2 - r_{int}^2} - \frac{(P_{int} - P_{ext}) \cdot r_{int}^2 \cdot r_{ext}^2}{(r_{ext}^2 - r_{int}^2) \cdot r^2} \quad (5.53)$$

Esfuerzo tangencial en el cilindro principal

$$\sigma_\theta = \frac{P_{int} \cdot r_{int}^2 - P_{ext} \cdot r_{ext}^2}{r_{ext}^2 - r_{int}^2} + \frac{(P_{int} - P_{ext}) \cdot r_{int}^2 \cdot r_{ext}^2}{(r_{ext}^2 - r_{int}^2) \cdot r^2} \quad (5.54)$$

Esfuerzo longitudinal en el cilindro principal

$$\sigma_L = \frac{P_{int} \cdot r_{int}^2}{r_{ext}^2 - r_{int}^2} \quad (5.55)$$

Esfuerzo de Von Mises

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (5.56)$$

Factor de seguridad en el cilindro principal

$$FS = \frac{S_Y}{\sigma_{VM}} \quad (5.57)$$

Esfuerzo Cortante Máximo

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} \quad (5.58)$$

Cortante Máximo

$$\tau_{S_Y} = 0,5 S_Y \quad (5.59)$$

Factor de seguridad para cortante máximo

$$FS_1 = \frac{\tau_{S_Y}}{\tau_{max}} \quad (5.60)$$

Cortante Puro

$$\tau_{S_{YS}} = 0,577 S_Y \quad (5.61)$$

Factor de seguridad para cortante puro

$$FS_2 = \frac{\tau_{S_{YS}}}{\tau_{max}} \quad (5.62)$$

Fuerza de aplastamiento necesaria

$$F_a = 9.81 \frac{\pi}{4} P_1 \cdot D_i^2 \quad (5.63)$$

Altura en pies del tanque de almacenamiento de combustible líquido y gaseoso

$$h_{pies} = \frac{\phi_e}{12} \quad (5.64)$$

Presión de diseño del tanque de almacenamiento

$$P_d = P_o + 0.1P_o + NL \cdot 0.433 \cdot h_{pies} \quad (5.65)$$

Espesor del cuerpo del tanque de almacenamiento

$$t_{cuerpo} = \frac{P_d \frac{\phi_e}{2}}{S.E + 0.4P_d} + CA \quad (5.66)$$

Espesor de las cabezas del tanque de almacenamiento

$$t_{cuerpo} = \frac{P_d \frac{\phi_e}{2}}{S.E + 0.4P_d} + CA \quad (5.67)$$

Longitud de pandeo en el embolo

$$L_p = L_e \quad (5.68)$$

Inercia de la sección circular del embolo

$$I_e = \frac{\pi \cdot \phi_{ef\_emb}^4}{64} \quad (5.69)$$

Fuerza a la que se produce el pandeo

$$F_p = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_e}{L_p^2} \quad (5.70)$$

Factor de seguridad para el embolo

$$FS_e = \frac{F_p}{F_a} \quad (5.71)$$

## 5.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

### 5.3.1 DIMENSIONES

$r_i := 0.03$ (m)	VER PLANO CODIGO MQEX_01 - 2011
$r_l := 0.0375$ (m)	
$L_A := 0.045$ (m)	espesor de la pared aislante
$L_{in} := 0.001$ (m)	espesor de la pared acero inoxidable
$L_{ww} := 0.10$ (m)	Longitud de calentamiento

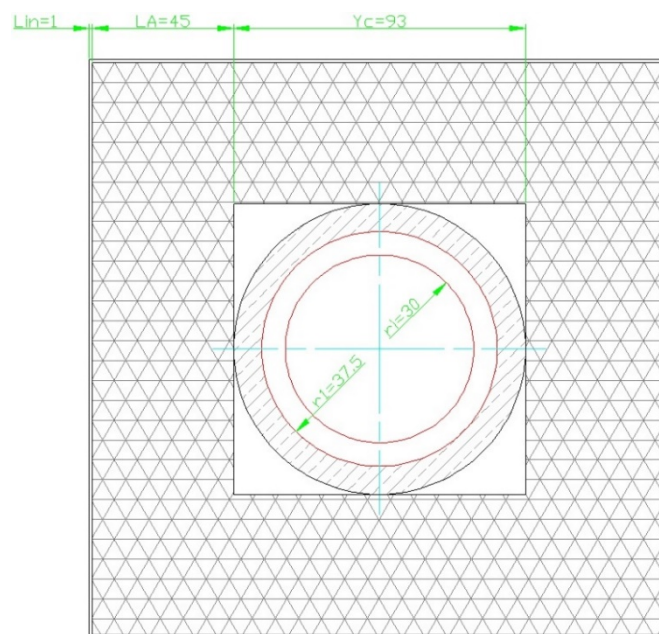


Figura 24 Esquema del sistema de calentamiento.

### 5.3.2 ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE MASA SECA Y CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA

Se considera que se tiene que retirar la mayor cantidad de humedad posible de la biomasa, para que el agua en forma de vapor, sea un agente elevador de presión durante el proceso de obtención de los multi combustibles.



## ANÁLISIS

$$V_2 := \pi \cdot r_i^2 \cdot L$$

$$V_2 = 2.827 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Volumen en la camara de calentamiento}$$

$$\rho := 790 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad \text{Densidad de la biomasa}$$

$$m_{\text{carga}} := V_2 \cdot \rho$$

$$m_{\text{carga}} = 0.223 \quad \text{Carga de diseño 0.2 Kg o carga de materia prima (biomasa) en la zona de calentamiento}$$

$$m_{\text{cmax}} := 0.6 \text{ (Kg)} \quad \text{Carga máxima que se puede ingresar en la zona de compactación}$$

$$m_H := m_{\text{cmax}} \text{ (Kg)} \quad \text{Masa húmeda de Biomasa}$$

$$X_{\text{wi}} := 84.4 \text{ (\%)} \quad \text{Porcentaje de humedad inicial}$$

$$X_{\text{wf}} := 12 \text{ (\%)} \quad \text{Porcentaje de humedad final con la cual se considera biomasa seca}$$

$$m_S := m_H \cdot \frac{100 - X_{\text{wi}}}{100}$$

$$m_S = 0.094 \text{ (Kg)} \quad \text{Masa seca de Biomasa}$$

$$\Delta W := m_S \cdot \left( \frac{X_{\text{wi}}}{100 - X_{\text{wi}}} - \frac{X_{\text{wf}}}{100 - X_{\text{wf}}} \right)$$

$$\Delta W = 0.494 \text{ (Kg)} \quad \text{Cantidad de Agua a remover de la biomasa}$$

### 5.3.3 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN FUNCIÓN DE DIMENSIONES INTERIORES DEL CILINDRO PRINCIPAL (U<sub>i</sub>)

Para que exista degradación de componentes estables produciéndose dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), vapor de agua (H<sub>2</sub>O), Ácido acético y metano (CH<sub>4</sub>) la temperatura del proceso de pirolisis se recomienda de 200 a 280 °C. (INIAP & ESPOCH, Producción y aprovechamiento energético de biomasa-Compendio de información; , 2008).

Para determinar el coeficiente de convección se considera la humedad presente en la biomasa como agua que se encuentra retenida en el cilindro de calentamiento, a la temperatura media volumétrica donde:

La temperatura de agua al inicio de la carga es 16,2 °C y la temperatura a la que tiene que llegar para que se lleve a cabo el proceso de pirolisis es 280°C.

### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCION INTERNO

$T_1 := 16.2$	(°C)	Temperatura de agua en el interior al inicio de carga
$T_2 := 280$	(°C)	Temperatura necesaria para la pirolisis
$T_m := \frac{T_1 + T_2}{2}$		
$T_m = 148.1$	(°C)	Temperatura media volumetrica (a esta temperatura el contenido de humedad de la materia prima será vapor)
$g := 9.81$	(m/s <sup>2</sup> )	Aceleracion de la gravedad

Para evitar que el cilindro de acero sufra perdida de características por el efecto de la temperatura se considera una temperatura máxima de operación de 400°C.

$T_s := 400$	(°C)	Temperatura del cilindro principal (Límite del acero)
$\nu := 2.714 \times 10^{-5}$	(m/s <sup>2</sup> )	Viscosidad cinematica a la Temperatura media volumétrica
$\rho_{a148.1} := 0.5271$	(Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad de vapor de agua a la Temperatura media volumetrica
$Pr := 1.02734$		Numero de prand a la Temperatura media volumetrica
$k := 0.02772$	(W/m °C)	Constante de conductividad termica del vapor de agua a Temperatura media volumétrica
$T_{sat} := 100$	(°C)	Temperatura de saturacion del vapor de agua
$\rho_{a100} := 1000$	(Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad del vapor de agua a temperatura igual a 100 °C
$\beta := \frac{1}{T_m + 273}$		Como Gas ideal por ser vapor
$\beta = 2.375 \times 10^{-3}$	(1/°K)	Coefficiente de expansion
$G_{rL} := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_m) L^3}{\nu^2}$		Número de Grashoff
$G_{rL} = 7.967 \times 10^6$		
$D_i := 2 \cdot r_i$	(m)	Diámetro interior del cilindro principal
$r := \frac{L}{D_i}$		

$r = 1.667$  (m) Relación longitud vs. diámetro

Evans y Stefany demostraron que el calentamiento o enfriamiento por convección libre en espacios cilíndricos cerrados horizontales o verticales se correlacionan mediante:

$$N_{ud} := 0.55 \cdot (G_{rL} \cdot P_r)^{\frac{1}{4}} \quad \text{Número de Nuselt, Pitts pag:204, EVANS Y STEFANY}$$

$$N_{ud} = 29.418$$

$$h_i := \frac{N_{ud} \cdot k}{D_i}$$

$$h_i = 13.591 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Coeficiente de convección}$$

#### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RADIACION INTERNO

$$\sigma := 5.67 \times 10^{-8} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}^4) \quad \text{Constante de Stefan Volzman}$$

$$\varepsilon_w := 0.2 \quad \text{Emitancia del acero}$$

$$h_{iil} := \sigma \cdot \varepsilon \cdot \frac{\left[ (T_s + 273)^4 - (T_{sat} + 273)^4 \right]}{T_s - T_{sat}}$$

$$h_{iil} = 7.023 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Coeficiente de radiacion interno}$$

$$T_{mr} := \frac{T_m + 273 + T_s + 273}{2}$$

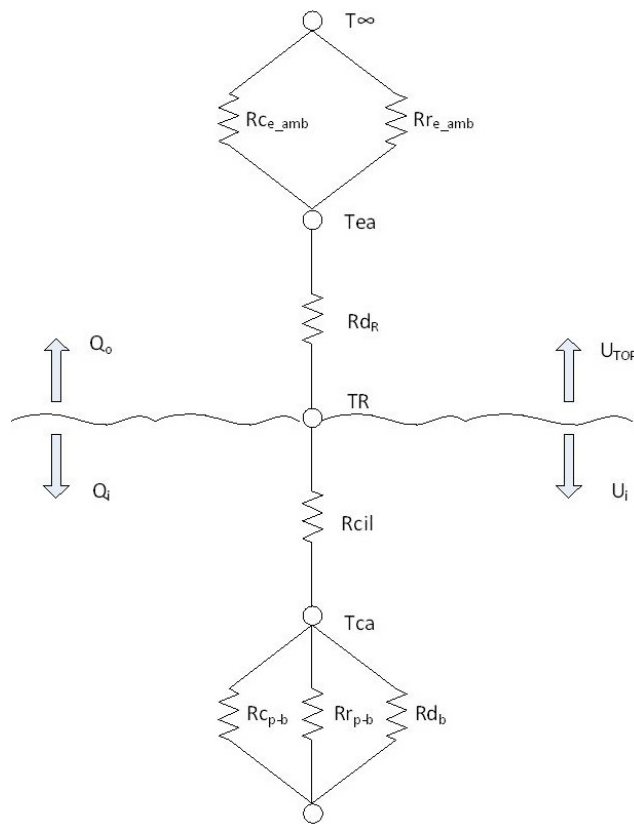
Temperatura media entre la temperatura media volumétrica y la temperatura del pared del cilindro principal.

$$h_{ii} := 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{mr}^3$$

$$h_{ii} = 7.426 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Coeficiente de radiación interno}$$

De estos dos coeficientes de radiación producidos en el interior del cilindro principal tomamos el de mayor valor ya que este es el más crítico.

## ANALOGÍA ELÉCTRICA



VER PLANO CÓDIGO MQEX\_02 – 2011

**Rcp-b:** Resistencia térmica por convección de la biomasa

**Rrp-b:** Resistencia térmica por radiación de la biomasa

**Rdb:** Resistencia térmica por conducción de la biomasa

**Tca:** Temperatura en la pared del cilindro

**Rcil:** Resistencia térmica por conducción hacia el exterior

**TR:** Temperatura en la resistencia eléctrica

**Rdr:** Temperatura del aislante térmico

**Tea:** Temperatura en la pared metálica de la caja de calentamiento

**Rce\_amb:** Resistencia térmica por convección hacia el exterior del sistema

**Rre\_amb:** Resistencia térmica por convección hacia el exterior del sistema

**T∞:** Temperatura ambiente

**Figura 25 Esquema de analogía eléctrica.**

$$R_{c_{p\_b}} := \frac{1}{2\pi \cdot r_i \cdot L \cdot h_i} \quad \text{Resistencia térmica por convección entre el cilindro y biomasa}$$

$$R_{c_{p\_b}} = 3.903 \quad (^\circ\text{C/W})$$

$$R_{r_{p\_b}} := \frac{1}{2\pi \cdot r_i \cdot L \cdot h_{ri}} \quad \text{Resistencia térmica por radiación entre el cilindro y biomasa}$$

$$R_{r_{p\_b}} = 7.144 \quad (^\circ\text{C/W})$$

Ecuación Libro Energías Renovables, Mario Ortega Rodriguez, Madrid España; 2000; Pág 216

$$k_b := 0.148 + 0.00493 \cdot X_{wi} \quad \text{Constante de conductividad térmica de la biomasa}$$

$$k_b = 0.564 \quad (\text{W/m } ^\circ\text{C})$$

El análisis de la resistencia interna por conducción de la biomasa que se encuentra sometida a presión y temperatura resulta complejo, porque está compuesta de diversos materiales como por ejemplo agua, vapor, taninos,

glucosa, ácidos grasos, aminoácidos, nucleótidos, componentes que en la mayoría de casos no se conocen sus características termo físicas por esta razón se procede a realizar el cálculo del valor aproximado de esta resistencia para el caso del estado estable.

Este método se utiliza puesto que en la ecuación para el cálculo se precisa realizar el cociente entre las dimensiones del radio interno y externo de la pared cilíndrica, en este caso el valor es igual a cero, en tales condiciones se presentaría una indeterminación y buscando la manera de llevar a la realidad el fenómeno producido por el aumento de temperatura en la biomasa, en consecuencia a esto se determinó un método que permita calcular el valor de la conductividad térmica.

A continuación se describe el procedimiento seguido:

Se establece reducciones que varían desde el 10% del radio interior hasta el 90%, evitando considerar la reducción del radio interior del 100% en vista que la resistencia tendería al infinito.

$$r_n = r_i \cdot \left( \frac{100 - \%reduccion}{100} \right) \quad \& \quad R_n = \frac{\ln(r_i/r_n)}{2\pi k_b L}$$

**Tabla 17**

**Variación de la resistencia térmica por conducción en función del radio.**

<b>% de REDUCCIÓN</b>	<b><math>r_n</math> (m)</b>	<b><math>R_n</math> (W/m°C)</b>
10	0.027	0.297
20	0.024	0.630
30	0.021	1.006
40	0.018	1.441
50	0.015	1.956
60	0.012	2.586
70	0.009	3.397
80	0.006	4.542
90	0.003	6.498
	<b>media =</b>	<b>2.484</b>

**Explicación:**

Se posee el radio interno del cilindro principal, con este valor se procede a reducirlo un 10% y se calcula el valor de la resistencia térmica, de esta forma se procede hasta obtener nueve valores, de los cuales se saca una media aritmética.

Con el resultado encontrado que para el caso de la resistencia de la biomasa da un valor de 2.484, lo que indica que se podría suprimir dado que es un valor muy bajo si se relaciona con el coeficiente de convección y de radiación. Además, Es importante indicar que la biomasa cuando pierde contenido de humedad se obtiene masa seca, con lo que este material se comportaría como un aislante.

$R_{db} := 2.484$  (°C/W) Resistencia térmica por conducción en la biomasa.

$k_a := 35.459$  (W/m °C) Constante de conductividad térmica del acero a Ts.

$R_{cil} := \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{2\pi k_a \cdot L}$  Resistencia térmica por conducción en la pared del cilindro de acero.

$R_{cil} = 0.01$  (°C/W)

**CÁLCULO DE  $U_i$** 

$$U_i := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot \left[ \frac{1}{\left( \frac{1}{R_{c_{p_b}}} + \frac{1}{R_{r_{p_b}}} + \frac{1}{R_{d_b}} \right)} + R_{cil} \right]}$$

$U_i = 42.038$  (W/m<sup>2</sup> °C) Coeficiente global de transferencia de calor interno.

### 5.3.4 SUMATORIA DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS EN FUNCIÓN DE DIMENSIONES EXTERIORES DEL CILINDRO PRINCIPAL ( $U_{TOP}$ ).

#### CÁLCULO DE $U_{TOP}$

$\phi_{res} := 0.009$ (m)	Diámetro de tubo que forma la resistencia
$Y_c := 2r_1 + 2\phi_{res}$	Ancho de la pared de transferencia de calor (caja)
$Y_c = 0.093$ (m)	
$k_{ais} := 0.14$ (W/m °C)	Constante de conductividad termica del aislante dada por el fabricante

$$R_A := \frac{L_A}{k_{ais} \cdot L \cdot Y_c}$$

$$R_A = 34.562 \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad \text{Resistencia termica pared plana aislamiento termico}$$

$$R_{in} := \frac{L_{in}}{k_a \cdot L \cdot Y_c}$$

$$R_{in} = 0.003 \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad \text{Resistencia termica pared plana recubrimiento caja acero inox.}$$

#### COEFICIENTE DE CONVECCION EXTERNO $h_o$

$$V := 1.3 \quad (\text{m/s}) \quad \text{Velocidad del viento}$$

$$h_o := 5.7 + 3 \cdot V$$

$$h_o = 9.6 \quad (\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Coeficiente de conveccion externo}$$

$$R_{c_{e\_amb}} := \frac{1}{h_o \cdot Y_c \cdot L}$$

$$R_{c_{e\_amb}} = 11.201 \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad \text{Resistencia por conveccion hacia el exterior del sistema}$$

#### COEFICIENTE DE RADIACION EXTERNO $h_{ro}$

Considerando que durante la manipulacion del sistema energetico, el operador puede estar bajo riesgo fisico por la presencia de calor y temperatura para el caso de la segunda propiedad la temperatura maxima que puede tolerar la piel es de 65°C por lo que para evitar algun tipo de afectacion se considera la temperatura de la envoltente de acero en 40°C

$$T_{spiel} := 40 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura que soporta la piel 65°C}$$

$$T_{amb} := 16.2 \quad (^\circ\text{C})$$

$$h_{ro} := \sigma \cdot \varepsilon \cdot \frac{\left[ (T_{spiel} + 273)^4 - (T_{amb} + 273)^4 \right]}{T_{spiel} - T_{amb}}$$

$$h_{rO} = 1.24 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Rr_{e\_amb} := \frac{1}{Y_c \cdot L \cdot h_{rO}} \quad \text{Resistencia electrica por radiacion con el medio exterior}$$

$$Rr_{e\_amb} = 86.703 \quad (^\circ\text{C/W})$$

$$U_{top} := \frac{1}{\left[ R_A + R_{in} + \frac{1}{\left( \frac{1}{Rc_{e\_amb}} + \frac{1}{Rr_{e\_amb}} \right)} \right]} \cdot (4 \cdot Y_c \cdot L)$$

$$U_{top} = 0.607 \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

### 5.3.5 CÁLCULO DEL CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO TRANSFERIDO HACIA EL EXTERIOR DEL SISTEMA ( $Q_{o\_punto}$ ) Y HACIA EL INTERIOR DEL SISTEMA ( $Q_{i\_punto}$ ).

$$A_o := 4 \cdot Y_c \cdot L \quad A_o = 0.037 \quad (\text{m}^2) \quad \text{Área exterior de transferencia de calor}$$

$$A_i := 2\pi \cdot r_i \cdot L \quad A_i = 0.019 \quad (\text{m}^2) \quad \text{Área interior de transferencia de calor}$$

$$T_r := 500 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura máxima de la resistencia eléctrica}$$

$$Q_{o\_punto} := A_o \cdot U_{top} \cdot (T_r - T_{spiel})$$

$$Q_{o\_punto} = 10.385 \quad (\text{W})$$

$$Q_{i\_punto} := A_i \cdot U_i \cdot (T_r - T_{amb})$$

$$Q_{i\_punto} = 383.364 \quad (\text{W})$$



### 5.3.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA NOMINAL, RESISTENCIA E INTENSIDAD DE CORRIENTE DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA (VER PLANOS CÓDIGO: MQEX\_03 - 2011, MQEX\_04 - 2011 y MQEX\_06 - 2011)

#### DETERMINACIÓN DEL CALOR NECESARIO PARA LA CÁMARA DE EXTRUSIÓN CONSIDERANDO MASA UNIFORME - VER PLANO CÓDIGO MQEX\_03 - 2011

$L_{\text{cil.efectiva}} := 0.199$	(m)	Longitud del cilindro
$V_{\text{cil}} := \pi \cdot (r_1^2 - r_i^2) \cdot L_{\text{cil.efectiva}}$		
$V_{\text{cil}} = 3.165 \times 10^{-4}$	(m <sup>3</sup> )	Volúmen efectivo del cilindro
$V_{\text{tap}} := 1.313 \times 10^{-4}$	(m <sup>3</sup> )	Volúmen de la tapa del cilindro principal, dato tomado de AutoCAD Mechanical 2013
$\phi_{\text{emb}} := 0.0593$	(m)	Diámetro del embolo
$L_{\text{emb}} := 0.22$	(m)	Longitud del embolo
$V_{\text{emb}} := \frac{\pi}{4} \phi_{\text{emb}}^2 \cdot L_{\text{emb}}$		
$V_{\text{emb}} = 6.076 \times 10^{-4}$	(m <sup>3</sup> )	Volúmen del embolo

Medidas de los esquemas en milímetros:

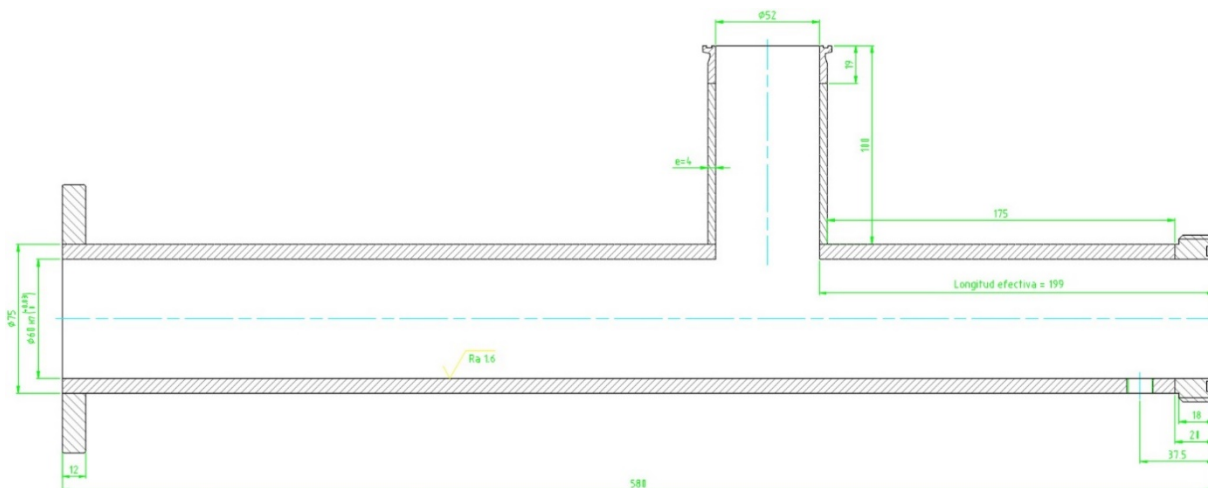


Figura 26 Esquema del sistema del cilindro principal.

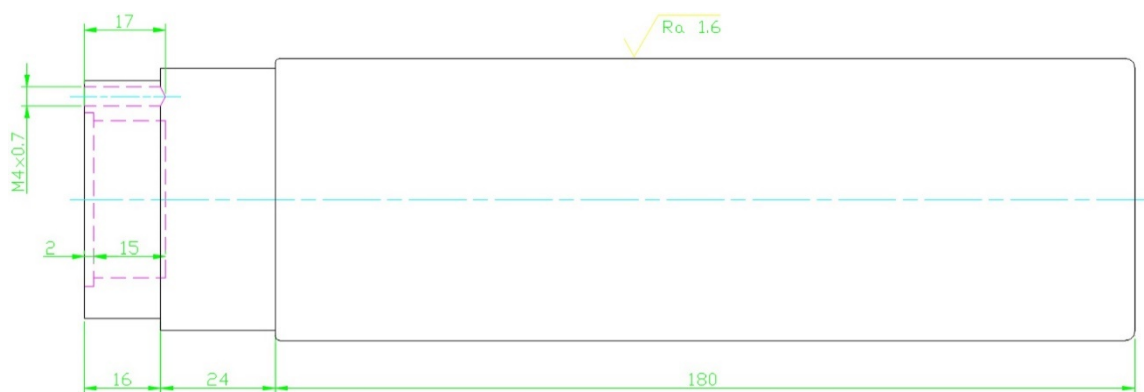


Figura 27 Esquema del sistema del embolo.

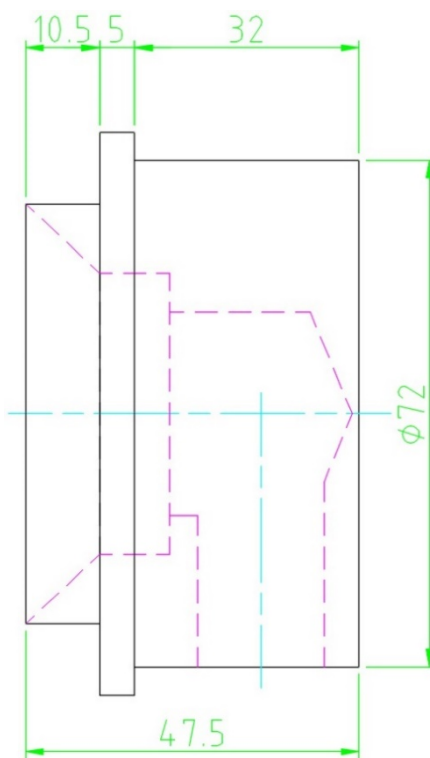


Figura 28 Esquema de la tapa del cilindro principal.

La Tapa y el Embolo se van a calentar y llegaran a una temperatura de 280 °C, el cilindro llegara a 400 °C

$$\rho_a := 7800 \quad (\text{Kg/m}^3) \quad \text{Densidad del acero}$$

$$m_{\text{cil}} := V_{\text{cil}} \cdot \rho_a$$

$$m_{\text{cil}} = 2.469 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa del cilindro efectivo}$$

$$m_{\text{tap}} := V_{\text{tap}} \cdot \rho_a$$

$$m_{\text{tap}} = 1.024 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa de la tapa}$$

$$m_{\text{emb}} := V_{\text{emb}} \cdot \rho_a$$

$$m_{\text{emb}} = 4.739 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa del embolo}$$

$$C_{p_a} := 0.12 \quad (\text{KCal/Kg } ^\circ\text{K}) \quad \text{Calor específico del acero}$$

$$Q_{\text{cil}} := m_{\text{cil}} \cdot \frac{C_{p_a}}{4.184} \cdot (T_s - T_{\text{amb}})$$

$$Q_{\text{cil}} = 27.174 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Calor absorbe el cilindro}$$

$$Q_{\text{tap_emb}} := (m_{\text{tap}} + m_{\text{emb}}) \cdot \frac{C_{p_a}}{4.184} \cdot (T_2 - T_{\text{amb}})$$

$$Q_{\text{tap_emb}} = 43.606 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Calor absorbe tapa y embolo}$$

$$t := 3600 \quad (\text{s}) \quad \text{Tiempo de calentamiento}$$

$$Q_{\text{N_punto}} := Q_{\text{i_punto}} + Q_{\text{o_punto}} + \frac{1000}{t} \cdot (Q_{\text{cil}} + Q_{\text{tap_emb}})$$

$$Q_{\text{N_punto}} = 413.366 \quad (\text{W}) \quad \text{Calor necesario}$$

Existen otras perdidas de energía por alimentacion, gases de salida del conjunto embolo cilindro, flúidos calientes que se recoletan en el exterior. Estas pérdidas son difíciles de calcular por lo que se considera que el calor perdido corresponda al 20% del calor necesario ( $Q_{\text{n_punto}}$ ).

$$Q_{\text{T_punto}} := Q_{\text{N_punto}} \cdot 1.2$$

$$Q_{\text{T_punto}} = 496.039 \quad (\text{W}) \quad \text{Calor Total necesario}$$

Es decir la potencia necesaria de la resistencia eléctrica es 496.039 W; sin embargo en la industria nacional se pueden encontrar resistencias de 600 W.

Por lo tanto:

$$Q_{\text{total\_punto}} := 600 \quad (\text{W}) \quad \text{Potencia nominal obtenido de las resistencias}$$

$$\text{Volt} := 110 \quad (\text{V}) \quad \text{Voltaje de la red publica}$$

$$R := \frac{\text{Volt}^2}{Q_{\text{total\_punto}}}$$

$$R = 20.167 \quad (\text{Ohmios}) \quad \text{Resistencia electrica necesaria}$$

$$I := \frac{Q_{\text{total\_punto}}}{\text{Volt}}$$

$$I = 5.455 \quad (\text{A}) \quad \text{Intensidad de corriente necesaria}$$

## 5.4 INTENSIFICADOR O GENERADOR DE ALTA PRESIÓN

$$P_o := 30 \quad (\text{Atm}) \quad \text{Presión interna de operación}$$

$$T_r := 500 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura de la resistencia dada por fabricante}$$

$$T_s := 400 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_p := \frac{T_r + T_s}{2}$$

$$T_p = 450 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura en la parte exterior del cilindro}$$

### CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEBIDO AL ESPESOR DEL CILINDRO

$$P_o := P_o \cdot 1.033 \quad \text{El factor 1.033 sirve para transformar de atmosferas a Kg/cm}^2$$

$$P_o = 30.99 \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

$$P_d := 1.5 \cdot P_o \quad \text{El factor 1.5 es recomendado en el Handbook Pressure Vessel, Eugene F. Megyesy, 2001, pg 13}$$

$$P_d = 46.485 \quad (\text{Kg/cm}^2) \quad \text{Presión de diseño}$$

Se selecciona un eje macizo de acero ASTM A106 Gr. A CD 80, para el cilindro principal. Para la determinación del esfuerzo de fluencia a la temperatura en la parte exterior del cilindro se procedió a recopilar información de la compañía internacional ThyssenKrupp, en donde vienen tabulados esfuerzos de fluencia para las distintas temperaturas de trabajo, posteriormente mediante las herramientas de Microsoft Excel se realizó el

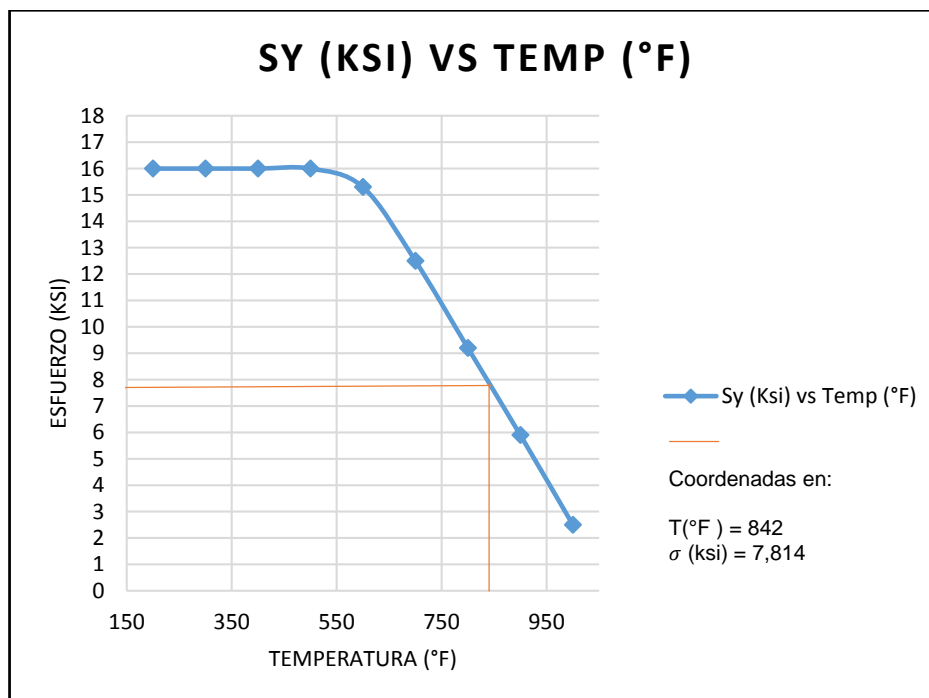
gráfico Resistencia a la tracción vs. Temperatura de trabajo con lo cual se obtuvo una ecuación aproximada de la curva y se pudo obtener el esfuerzo necesitado a 450°C (842°F). (STAHLKONTOR HAHN, s.f.)

**Tabla 18**

**Variación de la resistencia a la tracción en función de la temperatura de trabajo del acero ASTM A-106 A Gr. A**

Esfuerzo (Ksi)	Temp. (°F)
16	200
16	300
16	400
16	500
15.3	600
12.5	700
9.2	800
5.9	900
2.5	1000

Fuente: ASME B31.3 – Process Piping



**Figura 29 Variación de la resistencia a la tracción en función de la temperatura de trabajo del acero ASTM A-106 A Gr. A (ASME B31.1 – PROCESS PIPING, 2010)**

**Tabla 19**

**Variación de la resistencia a la tracción del acero ASTM A-106 Gr. A a una temperatura de trabajo específica.**

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	Resistencia (ksi)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
450	842	7.814	549,378

**Fuente:** ASME B31.3 – Process Piping

Condiciones del cilindro de pared gruesa:

$$\text{SI } \frac{t}{r_{\text{int}}} > 0.1 \quad \text{SE ADOPTA EL CRITERIO DE PARED GRUESA}$$

Donde:

$t$  => espesor del cilindro

$r_{\text{int}}$  => radio interno del cilindro

Para el caso de la microextrusora experimental de biomasa tenemos:

$$r_{\text{int}} := 3\text{cm}$$

$$r_{\text{ext}} := 3.75\text{cm}$$

$$t := r_{\text{ext}} - r_{\text{int}}$$

$$t = 0.75 \cdot \text{cm}$$

$$\frac{t}{r_{\text{int}}} = 0.25 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE LAS CONDICIONES DE UN CILINDRO DE PARED GRUESA}$$

La consideración para la presión interna y externa es la siguiente:

$$P_{\text{d}} := 46.485 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Presión de diseño}$$

$$P_{\text{int}} := P_{\text{d}} \quad P_{\text{ext}} := 0 \quad (\text{Presión al exterior del cilindro})$$

**ECUACIONES APLICABLES AL DISEÑO DEL CILINDRO DE LA MICRO EXTRUSORA:**

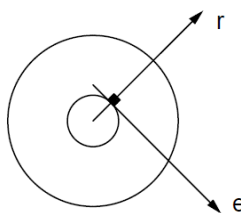
$$\sigma_r := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} - \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2} \quad \text{Esfuerzo radial}$$

$$\sigma_{\theta} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} + \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2} \quad \text{Esfuerzo tangencial}$$

Como el cilindro de la extrusora experimental esta cerrado por ambos lados, se puede aplicar:

$$\sigma_L := \frac{r_{\text{int}}^2 \cdot P_{\text{int}}}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2)} \quad \text{Esfuerzo longitudinal}$$

**CASO 1 - Si  $r = r_{\text{int}}$**



**Figura 30** CASO 1. Cuando el radio crítico es igual al radio interno.

$$r := r_{\text{int}}$$

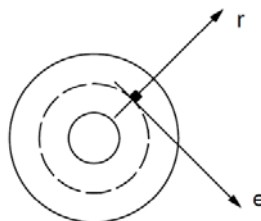
$$\sigma_r := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} - \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_{\theta} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} + \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_r = -46.485 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\theta} = 211.765 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**CASO 2 - Si  $r =$  promedio de los radios críticos ( $r_{\text{int}}$  &  $r_{\text{ext}}$ )**



**Figura 31** CASO 2. Cuando el radio crítico es promedio de los radios.

$$r_w := \frac{r_{\text{int}} + r_{\text{ext}}}{2}$$

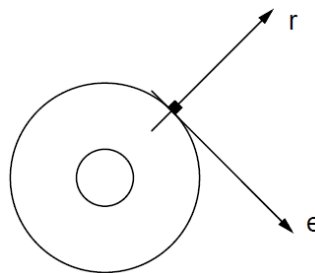
$$\sigma_{ww} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} - \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_{\theta\theta} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} + \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_r = -19.385 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_\theta = 184.665 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### CASO 3 - Si $r = r_{\text{ext}}$



**Figura 32** CASO 3. Cuando el radio crítico es igual al radio externo.

$$r_w := r_{\text{ext}}$$

$$\sigma_{ww} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} - \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_{\theta\theta} := \frac{P_{\text{int}} \cdot r_{\text{int}}^2 - P_{\text{ext}} \cdot r_{\text{ext}}^2}{r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2} + \frac{(P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \cdot r_{\text{int}}^2 \cdot r_{\text{ext}}^2}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2) \cdot r^2}$$

$$\sigma_r = 0 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_\theta = 165.28 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



De los casos anteriores, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 20**  
**Esfuerzos críticos según el radio.**

	r (cm)	Esfuerzo radial (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )
r interno	3	-46,485	<b>211,765</b>
r promedio	3,375	-19,385	184,665
r externo	3,75	0	165,280

Se determina que el esfuerzo tangencial  $\sigma_{\theta} = 211,765 \text{ Kg/cm}^2$  es un valor crítico.

Esfuerzo Longitudinal

$$\sigma_L := \frac{r_{\text{int}}^2 \cdot P_{\text{int}}}{(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2)}$$

Esfuerzo Longitudinal, por ser un cilindro cerrado.

$$\sigma_L = 82.64 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

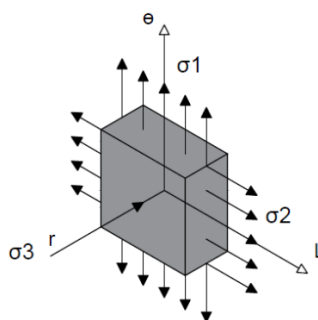
#### TEORÍA DE ENERGÍA DE DISTORSIÓN MÁXIMA:

VON - MISSES

$$\sigma_1 := 211.765 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 := 82.64 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_3 := -46.485 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



**Figura 33** Esquema elemental de las direcciones de los esfuerzos obtenidos.

Combinación de esfuerzos

$$\sigma_{VM} := \sqrt{\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]}$$

Esfuerzo de von-misses.

$$\sigma_{VM} = 223.651 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_y := 549.378 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{VM}}$$

$$FS = 2.456$$

TABLA 19

Resistencia a la fluencia del acero ASTM A106 Gr. A a temperatura de trabajo específica.

Factor de seguridad para el cilindro principal

El factor de seguridad 2,456 cumple con las condiciones del diseño de elementos y máquinas debido a que es mayor que 1.

**TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO:**

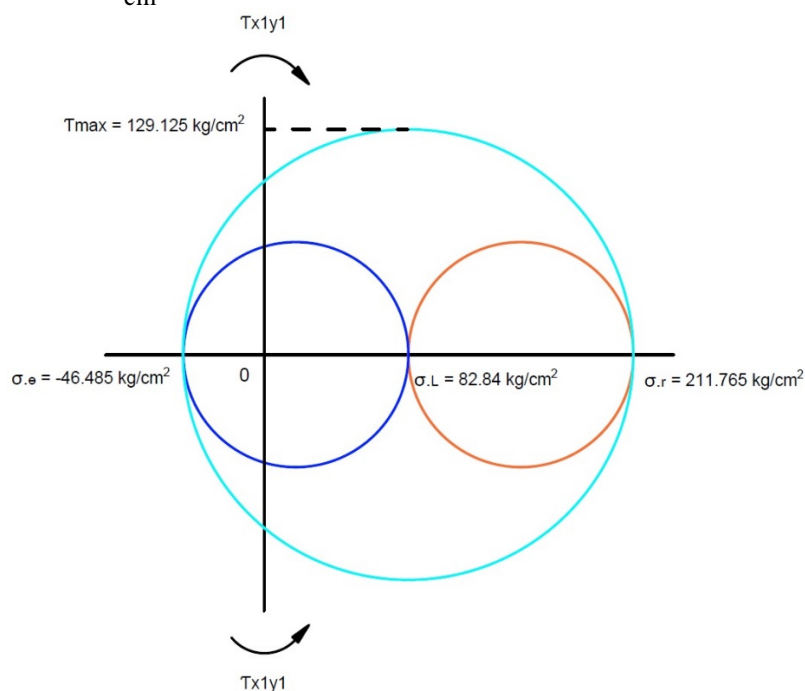
$$\sigma_{\theta} := 211.765 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_r := -46.485 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{max} := \frac{\sigma_{\theta} - \sigma_r}{2}$$

$$\tau_{max} = 129.125 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo cortante máximo



**Figura 34** Círculo de Mohr de los esfuerzos principales obtenidos.

Cortante máximo

$$\tau_{Sy} := 0.5Sy$$

$$\tau_{\max} := \frac{\tau_{Sy}}{FS_1}$$

$$FS_1 := \frac{\tau_{Sy}}{\tau_{\max}}$$

$$FS_1 = 2.127$$

Factor de seguridad en cortante máximo

Cortante puro

$$\tau_{Sys} := 0.577Sy$$

$$\tau_{\max} := \frac{\tau_{Sys}}{FS_2}$$

$$FS_2 := \frac{\tau_{Sys}}{\tau_{\max}}$$

$$FS_2 = 2.455$$

Factor de seguridad en cortante puro

## 5.5 SISTEMA DE EXTRUSIÓN

La pirólisis rápida con captura de material volátil (gases) es utilizada en la producción de carbón vegetal comercial, pero actualmente este método de obtención para combustibles líquidos se encuentra a nivel de plantas piloto de demostración. Para el caso de la pirólisis lenta (gasificación), las reacciones no ocurren fácilmente y necesita funcionar a temperaturas que van desde pocos cientos hasta miles de grados Celsius con presiones que varían desde una atmosfera hasta 30 veces más. El proceso comienza con la liberación de materiales volátiles del combustible calentado dejando el carbono.

Se analiza básicamente al embolo ya que los otros elementos se los toma en cuenta en los diferentes temas que están involucrados en el diseño de la máquina. (PLANO MQEX\_04 - 2011 y MQEX\_GENERAL - 2011).

A continuación se verifica si el embolo soporta las cargas axiales que provocarían un posible pandeo, en tales condiciones se calcula el factor de seguridad.

$$F_a := 9.81 \frac{\pi}{4} P_o \cdot D_1^2$$

$$F_a = 8595.734 \quad (\text{N}) \quad \text{Fuerza de aplastamiento necesaria}$$

$$L_e := 400 \quad (\text{mm}) \quad \text{Longitud efectiva del embolo}$$

$$E := 210000 \quad (\text{MPa}) \quad \text{Módulo de elasticidad del acero}$$

$$L_p := L_e \quad (\text{mm}) \quad \text{Longitud de pandeo del embolo}$$

$$\phi_{ef\_emb} := 59.3 \quad (\text{mm}) \quad \text{Diámetro efectivo del embolo}$$

$$I_e := \frac{\pi \cdot \phi_{ef\_emb}^4}{64}$$

$$I_e = 6.07 \times 10^5 \quad (\text{mm}^4) \quad \text{Inercia de la sección circular del embolo}$$

$$F_p := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_e}{L_p^2} \quad \text{Fuerza a la que se produce el pandeo}$$

$$F_p = 7.863 \times 10^5 \quad (\text{N})$$

$$FS_e := \frac{F_p}{F_a}$$

$$FS_e = 91.475 \quad \text{Factor de seguridad para el embolo}$$

Se consideró que aunque el factor de seguridad es considerablemente alto, es aceptable tomando en cuenta, que el material que se obtuvo para la fabricación de este elemento fue de un proceso de reciclaje y los costos que implicaría realizar el maquinado, para reducir la sección transversal, encarecerían sustancialmente la construcción del embolo, además para poder alcanzar el volumen necesario en la cámara de calentamiento con un diámetro menor implicaría aumentar la longitud del cilindro principal, saliendo de esta forma del objetivo principal que es diseñar una micro extrusora.

## **5.6 RECOLECTOR DE COMBUSTIBLES (SÓLIDO, LÍQUIDO Y GAS)**

### **5.6.1 RECOLECTOR DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO**

Una vez que se termine el proceso de pirolisis dentro del cilindro principal, es evidente que la materia seca debido al aumento de presión y temperatura van a quedar dentro del mismo cilindro.

### **5.6.2 RECOLECTOR DEL COMBUSTIBLE LÍQUIDO Y GASEOSO (VER PLANO MQEX\_10 – 2011 y MQEX\_GENERAL – 2011)**

Por disposición de espacio se tomó la decisión de que el combustible gaseoso sea dirigido a un tanque vertical de almacenamiento el cual tendrá una válvula de entrada y una de salida en la parte superior del tanque. El combustible líquido será recolectado por la parte frontal del cilindro principal. Posteriormente al almacenamiento de los dos combustibles se procederá a cerrar las válvulas de entrada y se abrirá la válvula de salida y por la propiedad de los gases de escapar por donde sea más fácil, se recolectara el combustible gaseoso en cánulas especiales para esto.

Para el diseño del tanque de recolección se emplea el código ASME VIII Div 1. Ver Plano MQEX\_10 – 2011, esquema medidas en milímetros. (Megyesy, PRESSURE VESSEL, Handbook,)

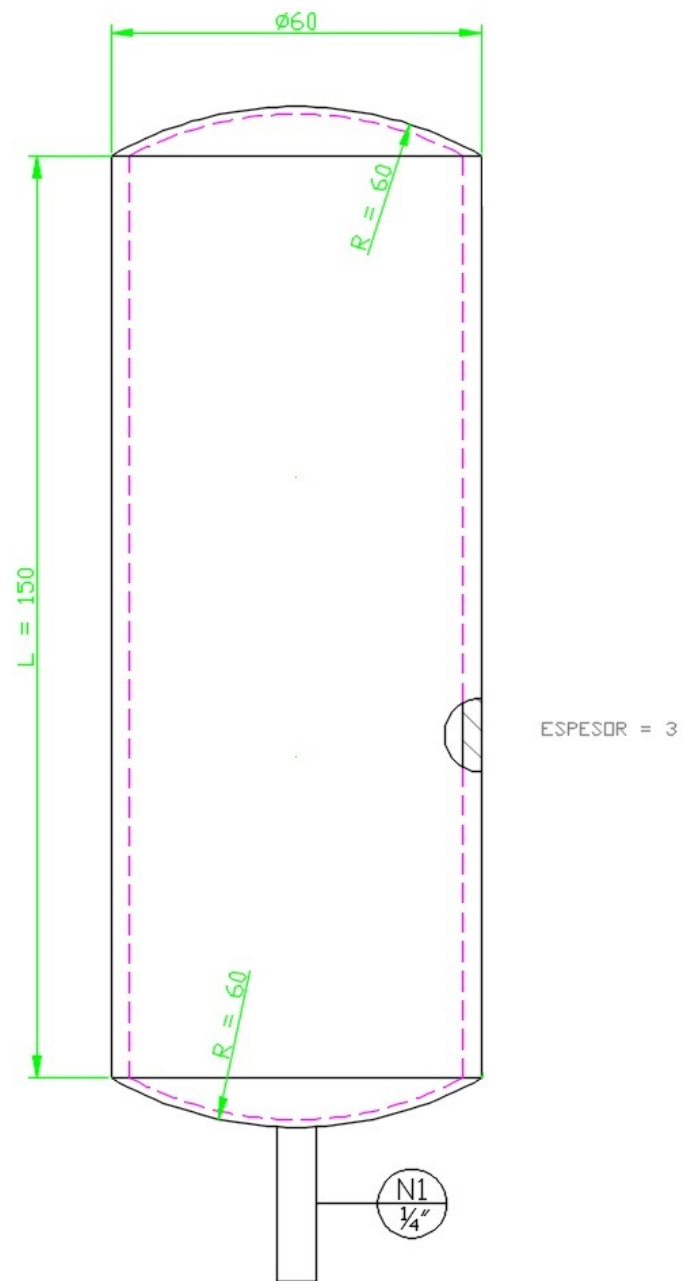


Figura 35 Esquema de Tanque Recolector de gases.

**DISEÑO DEL TANQUE PARA RECOLECCIÓN DE GAS VER PLANO MQEX 10 - 2011**

$$P_o := 30 \quad (\text{Atm})$$

$$T_d := 298.58 \quad (^\circ\text{F}) \quad \text{Temperatura media volumétrica (a esta temperatura el contenido de humedad de la materia prima será vapor)}$$

$$L_{ss} := 5.905 \quad (\text{pulg})$$

$$\phi_e := 2.362 \quad (\text{pulg})$$

$$E := 0.7 \quad \text{Eficiencia de la junta sin radiografiado}$$

$$NL := 100\% \quad \text{Nivel de líquido}$$

**MATERIAL CUERPO y CABEZAS ASTM A554**

$$S := 15700 \quad (\text{PSI}) \quad \text{Esfuerzo del material a } T_d$$

$$CA := \frac{1}{16} \quad (\text{pulg}) \quad \text{Corrosión admisible}$$

**CÁLCULO DEL ESPESOR PARA EL CUERPO**

$$P_w := 14.7P_o \quad \text{Transformación a PSI}$$

$$P_o = 441 \quad (\text{PSI})$$

$$h_{\text{pies}} := \frac{\phi_e}{12} \quad \text{Altura en pies del tanque de almacenamiento}$$

$$h_{\text{pies}} = 0.197 \quad (\text{pies})$$

$$P_d := P_o + 0.1 \cdot P_o + NL \cdot 0.433 \cdot h_{\text{pies}}$$

$$P_d = 485.185 \quad (\text{PSI}) \quad \text{Presión de diseño}$$

$$t_{\text{cuerpo}} := \frac{P_d \cdot \frac{\phi_e}{2}}{S \cdot E + 0.6P_d} + CA$$

$$t_{\text{cuerpo}} = 0.113 \quad (\text{pulg}) \quad \text{Espesor del cuerpo}$$

$$t_{\text{cuerpo}} := t_{\text{cuerpo}} \cdot 25.4$$

$$t_{\text{cuerpo}} = 2.878 \quad (\text{mm})$$

CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE DE TRABAJO - MAWP  
FRÍO Y NUEVO

$$MAWP_{\text{fnc}} := \frac{S \cdot E \cdot \frac{t_{\text{cuerpo}}}{25.4}}{\frac{\phi_e}{2} - 0.6 \cdot \frac{t_{\text{cuerpo}}}{25.4}}$$

$$MAWP_{\text{fnc}} = 1118.657 \quad \text{PSI}$$

CALIENTE Y CORROIDO

$$MAWP_{\text{ccc}} := \frac{S \cdot E \cdot \left( \frac{t_{\text{cuerpo}}}{25.4} - CA \right)}{\frac{\phi_e}{2} - 0.4 \cdot \left( \frac{t_{\text{cuerpo}}}{25.4} - CA \right)}$$

$$MAWP_{\text{ccc}} = 480.939 \quad (\text{PSI})$$

CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS CABEZAS

CABEZA HEMISFÉRICA

$$t_1 := \frac{P_d \cdot \frac{\phi_e}{2}}{S \cdot E + 0.8 \cdot P_d} + CA$$

$$t_1 = 0.113 \quad (\text{pulg})$$

$$t_{1w} := 25.4 \cdot t_1$$

$$t_1 = 2.867 \quad (\text{mm})$$

## 5.7 SOPORTE ESTRUCTURAL (Bastidor)

El soporte estructural de la micro extrusora está hecho en un perfil de sección rectangular, debe resistir el peso de esta y a las cargas aplicadas a través del porto (Ver Plano MQEX\_12 – 2011)

Se lo puede considerar como bastidor, su importancia está en el ensamblaje de la micro extrusora, de tal forma que tiene que cumplir con los requerimientos establecidos en los planos correspondientes (Ver Capitulo 6



Sección 6.3 “Análisis FEA del Bastidor de la Micro Extrusora (*Análisis de Elementos Finitos*)” y Plano MQEX\_11 – 2011)

## **5.8 COMPROBACIÓN DE RECORRIDO DE EMBOLO**

Para comprobar que el recorrido del embolo y el aumento de temperatura son suficientes para alcanzar la presión necesaria para el proceso de pirolisis se procede a realizar un análisis termodinámico entre dos estados.

Primer estado:

- Presión atmosférica
- Biomasa en el interior a temperatura ambiente

Segundo estado:

- 30 atmosferas de presión
- Biomasa en el interior a una temperatura de 280 °C

Por el proceso de aumento de presión y temperatura el agua presente en la biomasa va a cambiar de estado, para la comprobación se procede a hacer una comparación entre la energía interna que produce la máquina y la energía interna necesaria para que la biomasa y su humedad lleguen a las condiciones finales.

## Balance energético

$$x := 0.110 \quad (\text{m}) \quad \text{Distancia que recorre el embolo}$$

$$F_a := 8595.734 \quad (\text{N})$$

### ESTADO 1

$$T_1 := 16.2 \quad (^\circ\text{C})$$

$$V_1 := \pi r_1^2 \cdot (L + x) \quad \text{Volumen al inicio del proceso}$$

$$V_1 = 5.938 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^3)$$

$$P_i := 101.325 \quad (\text{KPa}) \quad \text{Presión inicial 1 atm}$$

La temperatura de saturación del agua a 101.325 KPa es 99.97 °C por tal motivo el agua pre: en la biomasa es un líquido comprimido por lo cual la entalpia a 16.2 °C es:

$$h_1 := 68.006 \quad (\text{KJ/Kg}) \quad \text{Entalpia en el estado 1 del agua en la biomasa}$$

La entalpia se obtuvo de la tabla de propiedades del agua comprimida

### ESTADO 2

$$T_2 := 280 \quad (^\circ\text{C})$$

$$V_2 := 2.827 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^3)$$

$$P_f := 3039.75 \quad (\text{KPa}) \quad \text{Presión final 30 atm}$$

La temperatura de saturación del agua a 3039.75 KPa es 233.85 °C por tal motivo el agua que extrajo de la biomasa es vapor sobre calentado por lo cual la entalpia a 280 °C es:

$$h_2 := 2939.18 \quad (\text{KJ/Kg})$$

De la ecuaciones:

$$\mathbf{Q - W_b = \Delta U \quad \& \quad \Delta H = \Delta U + W_b}$$

$$m_m := 9.5\% \quad \text{Porcentaje de Humedad}$$

$$m_p := 8\% \quad \text{Porcentaje de proteína}$$

$$m_f := 44\% \quad \text{Porcentaje de grasa}$$

$$m_c := 36.6\% \quad \text{Porcentaje de hidratos de carbono}$$

$$m_a := 1.9\% \quad \text{Porcentaje de cenizas}$$

$$C_{p_{\text{bio}}} := 1.424m_c + 1.549m_p + 1.675 \cdot m_f + 0.837 \cdot m_a + 4.187m_m$$

$$C_{p_{\text{bio}}} = 1.796 \quad (\text{KJ/Kg } ^\circ\text{C})$$

$$\Delta H_n := m_H \cdot C_{p_{\text{bio}}} \cdot (T_2 - T_1) + \Delta W \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Delta H_n = 1701.551 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Variación de entalpía necesaria para llegar a una presión de 30 atm}$$

$$W_b := \frac{F_a}{\pi r_1^2 \cdot 1000} \cdot (V_2 - V_1)$$

$$W_b = -0.946 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Trabajo realizado por el embolo sobre el fluido}$$

$$\Delta U_n := \Delta H_n - W_b$$

$$\Delta U_n = 1702.497 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Variación de energía interna necesaria para llegar a una presión de 30 atm}$$

$$t := 3600 \quad (\text{s}) \quad \text{Tiempo de calentamiento}$$

$$\Delta U_r := \frac{1.2 \cdot Q_{i_{\text{punto}}} \cdot t}{1000} - W_b$$

$$\Delta U_r = 1657.078 \quad (\text{KJ}) \quad \text{Variación de energía interna que se obtiene de la máquina}$$

$$\text{Error} := \left| \frac{\Delta U_r - \Delta U_n}{\Delta U_n} \cdot 100 \right| \quad \text{Error que se produce al comparar energías internas}$$

$$\text{Error} = 2.668 \quad (\%)$$

Al ser el error menor al 5% se considera que la variación de energía interna necesaria y la que se obtiene son aproximadamente iguales y en tal virtud la máquina alcanza las temperaturas y presiones requeridas.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE**

Una vez concebida la idea del diseño de un proyecto y luego de realizar exhaustivos cálculos el diseñador debe enfocar también los problemas que esto le llevará al momento de construir el mismo, es muy importante pensar en el material, si es o no el más adecuado, el método o proceso de construcción donde puede existir potenciales limitaciones y englobando a los anteriores la economía, dichos términos son importantes para fabricar un sistema.

Es muy importante entender y expresar en esquemas o dibujos la forma física específica que tendrá cada parte de la máquina a construir. Este capítulo, trata de expresar la forma de construcción, manipulación del material en bruto a un material tratado o maquinado este proceso nos llevara a la construcción de la micro-extrusora experimental de biomasa, haciendo referencia frecuentemente a planos de dibujo y diagramas de proceso, fabricación y montaje.

#### **6.1 DIAGRAMAS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE**

Para una mejor y más fácil comprensión del procedimiento seguido para la construcción de la máquina micro-extrusora se ha tomado en cuenta los siguientes sistemas:

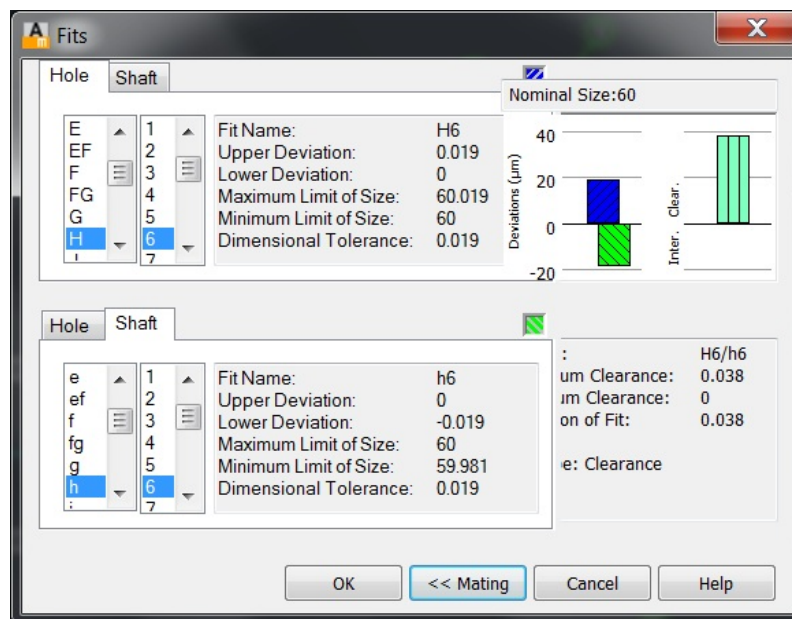
- Cilindro de Carga,
- Intensificador
- Mecanismo de Aplastamiento
- Generador Térmico
- Bastidor
- Colector de fluidos

Se debe señalar también que en el proceso de construcción de la máquina existen procesos especiales, como por ejemplo: la soldadura de acero inoxidable sobre el cilindro principal, así mismo la unión de un acople en la parte frontal del mismo. También debemos mencionar las tolerancias de medida que se deben tomar en cuenta en la fabricación del embolo, y la tolerancia del diámetro interior del cilindro principal. A continuación se presenta las variables que se deberán utilizar al momento de llevar a cabo dichas acciones.

#### – ***Tolerancias de Medida***

La medida nominal es la que se emplea para identificar a una pieza; una medida constructiva es la medida nominal añadiendo una expresión de tolerancias, siendo estas las que señalan los valores máximos y mínimos que la dimensión puede alcanzar para que la pieza construida con estas medidas sirva para el fin propuesto. En nuestro caso es importante saber el diámetro interior de construcción del cilindro principal y el diámetro exterior del embolo que juntos estos dos elementos se puede hacer un símil con el pistón y cilindro de un automóvil. Dicha esta comparación entonces es muy importante la tolerancia de fabricación que van hacer construidas estos elementos.

Para la selección de la tolerancia de fabricación la realizamos con la ayuda del paquete informático AutoCAD Mechanical 2013, en un software de evaluación (trial) de prueba, esta herramienta permite la selección y el cálculo de la medida a partir de una dimensión de eje y agujero dados. A continuación presentamos el cuadro donde elegimos la tolerancia a través de la medida nominal que para nuestro caso son 60 mm de diámetro



**Figura 36 Cuadro de diálogo de selección de tolerancia con AutoCAD Mechanical 2013**

Los valores para el agujero son H6, valor máximo 60.019 mm, valor mínimo 60 mm, para el eje es h6, valor máximo 60 mm, valor mínimo 59.981 mm.

### – Soldadura

Para la construcción de la Máquina Micro Extrusora se llevan a cabo diferentes procesos de manufactura, y entre ellos la unión de las diferentes partes y elementos que conforman el cuerpo de la misma.

En esta sección vamos a mencionar las soldaduras que se realizó al momento de la construcción del cilindro principal.

Existen cuatro puntos principales los cuales conforman el sistema del cilindro principal, el primero es la soldadura del cilindro de Carga con el Clamp (Accesorio Sanitario Inoxidable), ambos son de el mismo material, en este caso AISI 304 para la fusión de este material vamos a utilizar una soldadura tipo TIG con varilla ER 308L 1/16". El segundo caso es la soldadura SMAW

con electrodo E 312-16 que esta entre el cilindro de Carga y el cilindro principal que son dos materiales diferentes. Tercera, es una soldadura tipo SMAW entre el cilindro principal y el acople rápido, y finalmente la soldadura entre la brida de acople del porto y el cilindro principal. Ver Plano MQEX\_03 – 2011.

Los procesos descritos anteriormente se realizaron con la ayuda de un ingeniero mecánico el cuál construyo por completo las partes y elementos de la micro extrusora experimental de biomasa. Si bien es cierto no es una persona calificada con algún título de soldadura, es una persona con vasta experiencia en el campo del diseño y construcción de máquinas y mecanismos por lo cual nos asegura la correcta construcción de la misma.

Para una mejor comprensión de estos sistemas y elementos se recomienda observar los planos de los diferentes elementos en el capítulo de anexos que se encuentra en la parte final del presente proyecto y en las siguientes hojas presentamos los diagramas de construcción de las diferentes piezas que conforman la maquina micro extrusora, así mismo los diferentes WPS para las soldaduras anteriormente descritas.

Tabla 21

## WPS PARA SOLDADURA ENTRE EL CLAMP Y CILINDRO DE CARGA.

WPS - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ASME Boiler and Pressure Vessel Code , Sección IX						
Nombre de la Empresa:		STS Ingeniería		Identificación No:		1
Proceso de soldadura:		GTAW		Revisión No:		1
Tipo:		Manual				
Nombre del soldador:		Ing. Alejandro Pérez		Autorizado por: P. Salazar & A. Villacrés		
DISEÑO DE UNIÓN (QW-402)			Detalles			
Tipo de Unión: a Tope, Ranura en V, SIMPLE Abertura de raíz: R=0 Longitud de cara de raíz: f=1.6 mm Angulo de ranura: $\alpha=60^\circ$ Respaldo: NO						
METALES BASE (QW-403)			POSICIÓN (QW-405)			
	MB1	MB2				
Especificación de Acero:	AISI A304	AISI A 304	Ranura: 2G			
Diámetro de Tubería:	ø60mm CD 40 e = 4mm	ø2" CD 80 e = 5,5 mm	Tubería: Si			
METAL DE APORTE (QW-404)			PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Especificación SFA:	A 5.9		Temperatura de precalentamiento: N/A			
Clasificación AWS:	ER308/308L		Temperatura de interfase: N/A			
Marca:	Indura		POSCALENTAMIENTO (QW-407): NO			
Diámetro de la varilla:	1/16"					
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)			GAS (QW-408)			
Modo de Transferencia: GTAW			Gas	Mezcla	Flujo	
Corriente			Protección	Argón	99,99	8-12 l/min
AC:	PULSO:		TÉCNICA (QW-410)			
DCEP:	DCEN:	X	Limpieza entre pases: SI	Oscilante, Multi-pases		
			Método: Grata			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA						
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance (mm/min)
		Clase	Diám. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (A)	
1	GTAW	ER 308 L	0,9	DCEN	90	64
2	GTAW	ER 308 L	0,9	DCEN	90	84
3	GTAW	ER 308 L	0,9	DCEN	120	84



Tabla 22

### WPS PARA SOLDADURA ENTRE EL CILINDRO DE CARGA Y CILINDRO PRINCIPAL.

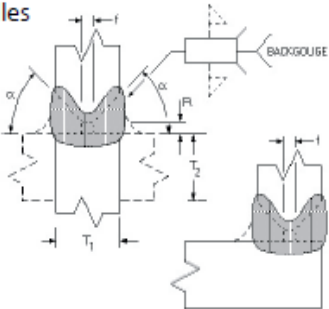
WPS - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ASME Boiler and PressureVesselCode , Sección IX						
Nombre de la Empresa:		STS Ingeniería		Identificación No:		1
Proceso de soldadura:		SMAW		Revisión No:		1
Tipo:		Manual		Autorizado por: P. Salazar & A. Villacrés		
Nombre del soldador:		Ing. Alejandro Pérez				
DISEÑO DE UNIÓN (QW-402)			Detalles 			
Tipo de Unión: Doble ranura , Junta en T						
Abertura de raíz: R=6						
Longitud de cara de raíz: f=0-3 mm						
Angulo de ranura: $\alpha=45^\circ$						
Respaldo: SI						
METALES BASE (QW-403)			POSICIÓN (QW-405)			
	MB1	MB2				
Especificación de Acero:	SA 106 Gr A	AISI A 304	Ranura: 2G			
Diámetro de Tubería:	$\varnothing 75\text{mm}$ CD 80	$\varnothing 60\text{mm}$ CD 40	Tubería: SI			
	e = 7,5 mm	e = 4mm				
METAL DE APORTE (QW-404)			PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Especificación SFA:	A 5.4		Temperatura de precalentamiento: 100°C			
Clasificación AWS:	E 312 – 16		Temperatura de interfase: N/A			
Marca:	Lincoln					
Diámetro del electrodo:	2.5 mm		POSCALENTAMIENTO (QW-407): NO			
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)			GAS (QW-408)			
Modo de Transferencia: SMAW			Gas	Mezcla	Flujo	
Corriente			Protección	--	--	--
AC: PULSO:			TÉCNICA (QW-410)			
DCEP:X DCEN:			Limpieza entre pases: SI	Oscilante, Multi-pases		
			Método: Grata			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA						
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance (mm/min)
		Clase	Diám. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (A)	
1	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	50	64
2	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	50	84
3	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	90	84

Tabla 23.

## WPS PARA SOLDADURA ENTRE EL CILINDRO PRINCIPAL Y ACOPLE RÁPIDO

WPS - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ASME Boiler and PressureVesselCode , Sección IX						
Nombre de la Empresa: STS Ingeniería						
Proceso de soldadura: SMAW			Identificación No: 1			
Tipo: Manual			Revisión No: 1			
Nombre del soldador: Ing. Alejandro Pérez			Autorizado por: P. Salazar & A. Villacrés			
DISEÑO DE UNIÓN (QW-402)			Detalles			
Tipo de Unión: a Tope, Ranura en V, SIMPLE						
Abertura de raíz: R=0						
Longitud de cara de raíz: f=1.6 mm						
Angulo de ranura: α=60°						
Respaldo: NO						
METALES BASE (QW-403)			POSICIÓN (QW-405)			
MB1                      MB2						
Especificación de Acero: SA 106 Gr A      AISI A 304			Ranura: 2G			
Diámetro de Tubería: Ø75mm CD 80 e 7,5 mm      Ø75mm CD 80 e 7,5 mm			Tubería: Si			
METAL DE APORTE (QW-404)			PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Especificación SFA: A 5.4			Temperatura de precalentamiento: 100°C			
Clasificación AWS: E 312 -16			Temperatura de interfase: N/A			
Marca: Lincoln			POSCALENTAMIENTO (QW-407): NO			
Diámetro del electrodo: 2.5 mm						
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)			GAS (QW-408)			
Modo de Transferencia: SMAW			Gas                      Mezcla                      Flujo			
Corriente			Protección                      --                      --                      --			
AC: PULSO:			TECNICA (QW-410)			
DCEP:X      DCEN:			Limpieza entre pases: SI                      Oscilante, Multi-pases			
			Método: Grata			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA						
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance (mm/min)
		Clase	Diám. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (A)	
1	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	50	64
2	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	50	84
3	SMAW	E 312 -16	2.5	DCEP	90	84

Tabla 24

## WPS PARA SOLDADURA ENTRE EL CILINDRO PRINCIPAL Y BRIDA

WPS - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ASME Boiler and PressureVesselCode , Sección IX												
Nombre de la Empresa:		STS Ingeniería		Identificación No:		1						
Proceso de soldadura:		SMAW		Revisión No:		1						
Tipo:		Manual		Autorizado por: P. Salazar & A. Villacrés								
Nombre del soldador:		Ing. Alejandro Pérez										
DISEÑO DE UNIÓN (QW-402)			Detalles									
Tipo de Unión: junta en T, Ranura en V, SIMPLE Abertura de raíz: R=0 Longitud de cara de raíz: f=1.6 mm Angulo de ranura: $\alpha=45^\circ$ Respaldo: NO												
METALES BASE (QW-403)			POSICIÓN (QW-405)									
		MB1	MB2									
Especificación de Acero:		SA 106 Gr A	SA 36	Ranura: 1G								
Diámetro de Tubería:		Ø75mm CD 80 e = 7,5 mm	135mm X 12	Tubería: Si								
METAL DE APORTE (QW-404)			PRECALENTAMIENTO (QW-406)									
		MA1	MA2									
Especificación SFA:		A 5.1	A 5.1	Temperatura de precalentamiento: N/A								
Clasificación AWS:		E6013	E7018	Temperatura de interpase: N/A								
Marca:		AGA	AGA									
Diámetro del electrodo:		2.5 mm	3.2 mm	POSCALENTAMIENTO (QW-407): NO								
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)			GAS (QW-408)									
Modo de Transferencia: SMAW			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>				Gas	Mezcla	Flujo	--	--	--
Gas	Mezcla	Flujo										
--	--	--										
Corriente			TÉCNICA (QW-410)									
AC: PULSO:			Limpieza entre pases: Si      Oscilante, Multi-pases									
DCEP: X (E7018)      DCEN: X (E6013)			Método: Grata									
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA												
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance (mm/min)						
		Clase	Diám. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (A)							
1	SMAW	E 6013	2.5	DCEN	60	64						
2	SMAW	E 6013	2.5	DCEN	85	84						
3	SMAW	E 7018	3.2	DCEP	100	84						

## 6.2 CILINDRO DE CARGA

### DIAGRAMA DE PROCESO DEL TUBO DE CARGA

ASUNTO DIAGRAMADO: Cilindro de Carga

PLANO N°: MQEX\_03 - 2011

SECCIÓN: Cilindro de Carga & Manhole

FECHA DIAGRAMADO: 2011/10/04

DIAGRAMADO POR: P. Salazar y A. Villacrés

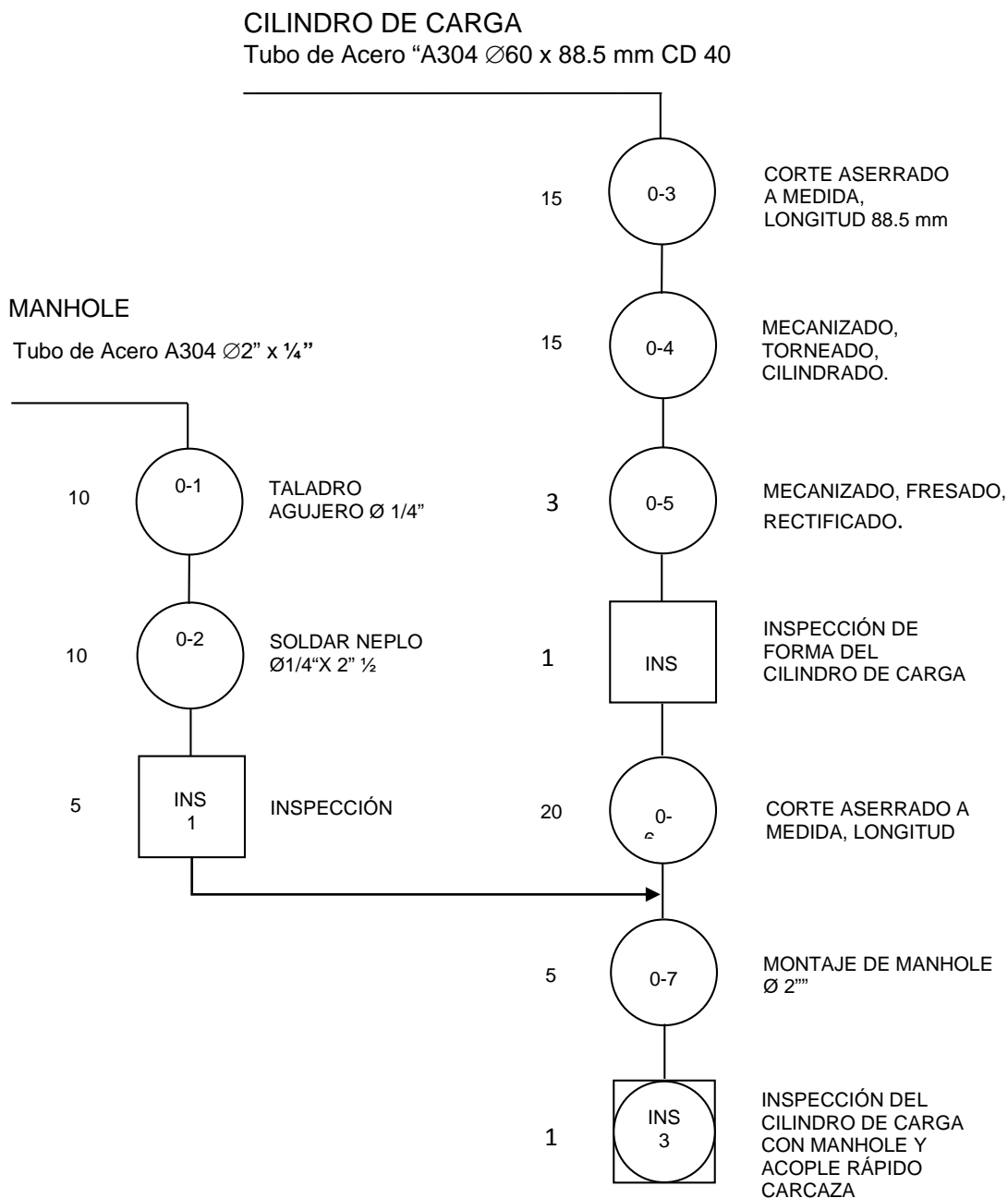


Diagrama 1 Proceso de fabricación del Cilindro de Carga

### 6.3 INTENSIFICADOR

#### DIAGRAMA DE PROCESO DEL INTENSIFICADOR

ASUNTO DIAGRAMADO: Intensificador

PLANO N° MQEX\_03 -2011, MQEX\_05 - 2011

SECCIÓN: Cilindro Principal y Bridas

FECHA DIAGRAMADO: 2011/10/04

DIAGRAMADO POR: P. Salazar y A. Villacrés

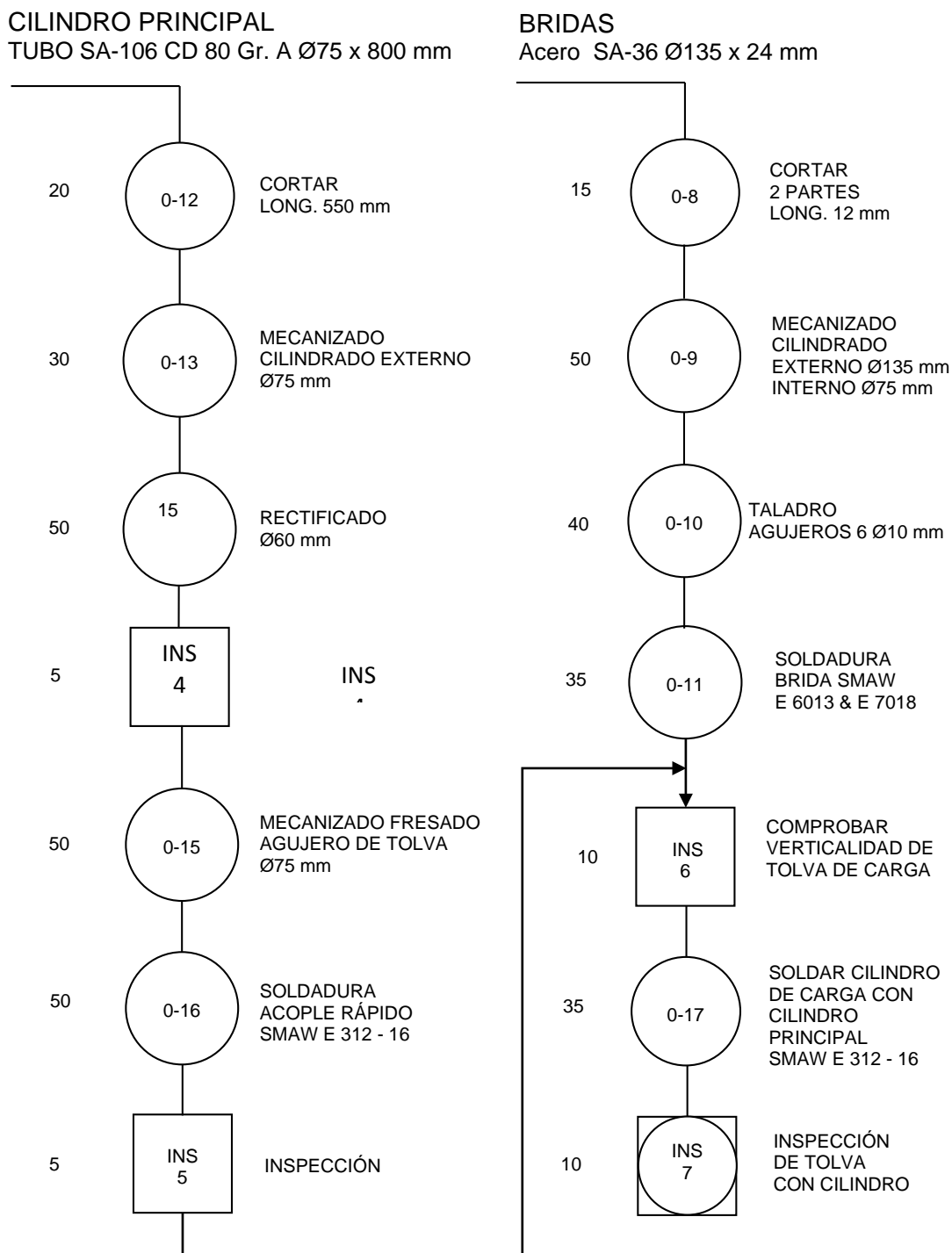


Diagrama 2 Proceso de fabricación del Intensificador

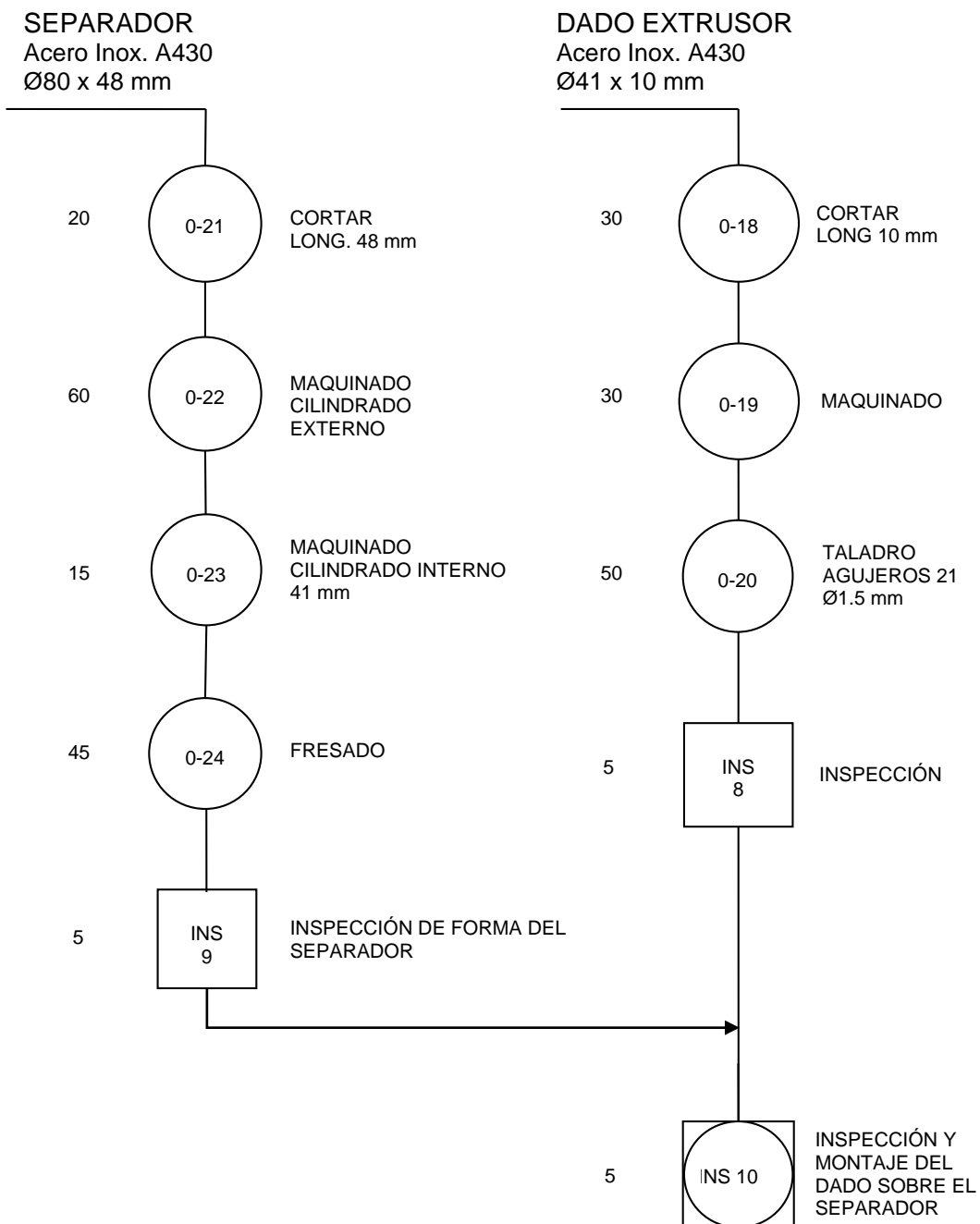
**DIAGRAMA DE PROCESO DEL INTENSIFICADOR**

**ASUNTO DIAGRAMADO:** Intensificador PLANO N°: MQEX\_06 - 2011, MQEX\_07 - 2011

**SECCIÓN:** Tapa del Cilindro Principal (SEPARADOR) y Dado Extrusor

**FECHA DIAGRAMADO:** 2011/10/04

**DIAGRAMADO POR:** P. Salazar y A. Villacrés



**Diagrama 3** Proceso de fabricación del Intensificador (Continuación).

**DIAGRAMA DE PROCESO DEL INTENSIFICADOR**

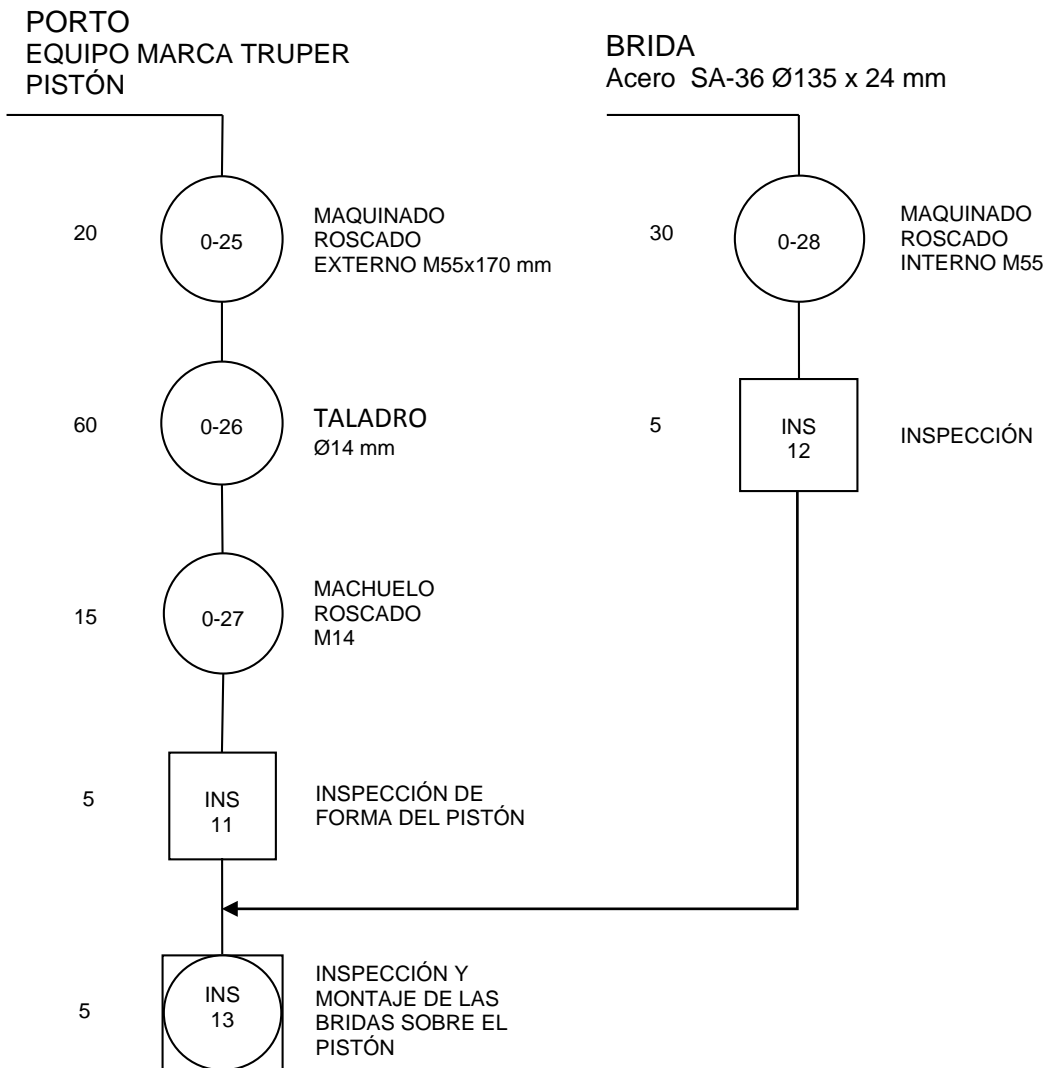
**ASUNTO DIAGRAMADO:** Intensificador

**PLANO N°:** MQEX\_05 - 2011

**SECCIÓN:** Porto y Brida

**FECHA DIAGRAMADO:** 2011/12/28

**DIAGRAMADO POR:** P. Salazar y A. Villacrés



**Diagrama 4** Proceso de fabricación del Intensificador (Continuación)

**6.3.1 MECANISMO DE APLASTAMIENTO**

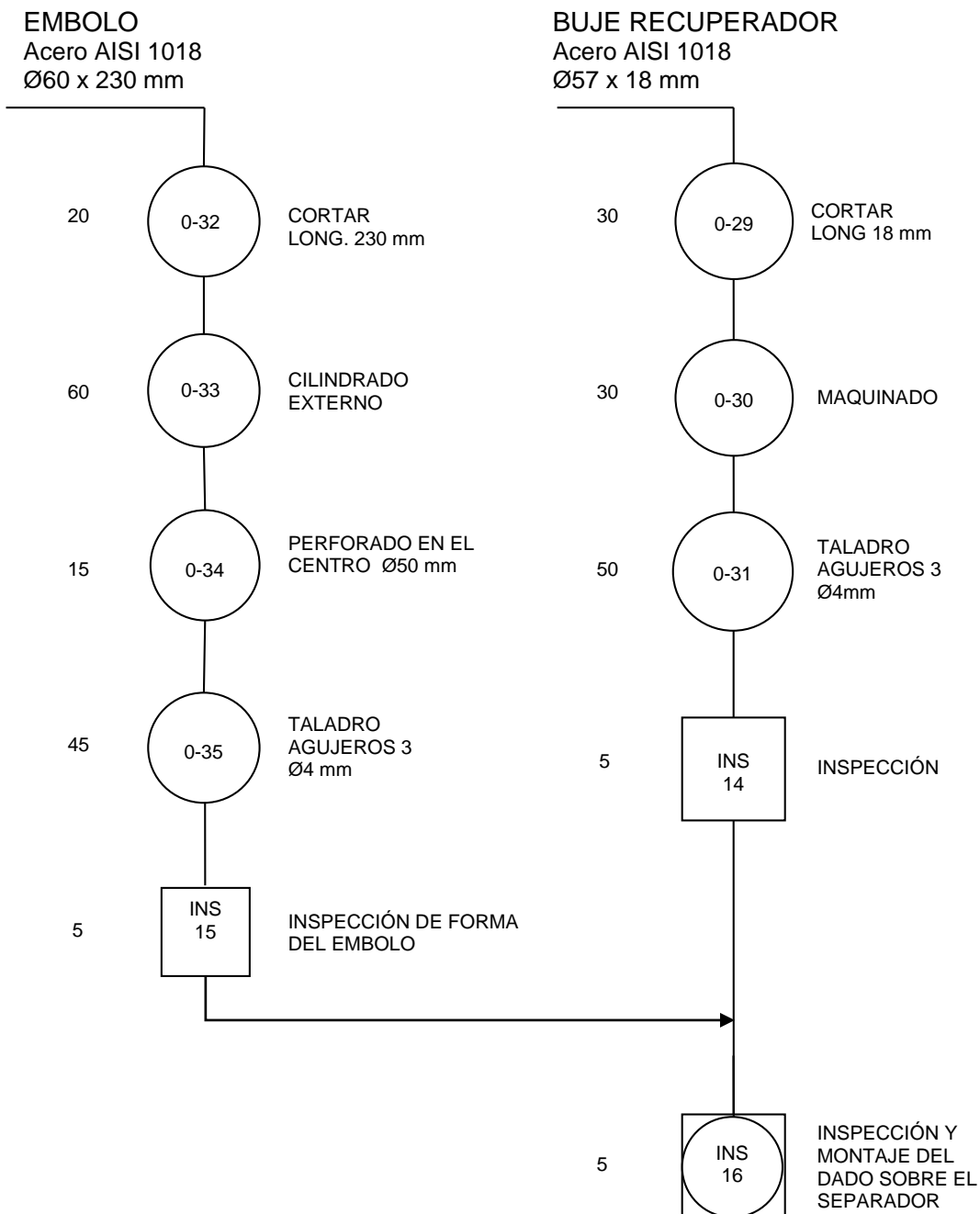
**DIAGRAMA DE PROCESO DEL MECANISMO DE APLASTAMIENTO**

**ASUNTO DIAGRAMADO:** Mecanismo de Aplastamiento PLANO N°: MQEX\_04, MQEX\_08

**SECCIÓN:** Embolo y Buje Recuperador

**FECHA DIAGRAMADO:** 2011/11/04

**DIAGRAMADO POR:** P. Salazar y A. Villacrés



**Diagrama 5 Proceso de fabricación del Mecanismo de aplastamiento.**



### 6.4 BASTIDOR

#### DIAGRAMA DE PROCESO DEL BASTIDOR

ASUNTO DIAGRAMADO: Bastidor

PLANO N°: MQEX\_09 – 2011, MQEX\_12 - 2011

SECCIÓN: Pletinas de Anclaje y Bastidor de la Micro Extrusora

FECHA DIAGRAMADO: 2011/12/28

DIAGRAMADO POR: P. Salazar y A. Villacrés

BLOQUES DE ANCLAJE  
Acero A36 274x196x65mm

BASTIDOR DE LA MICRO EXTRUSORA  
Tubo Mecánico Cuadrado  
A3666m x 25,4mm x 12,7mm

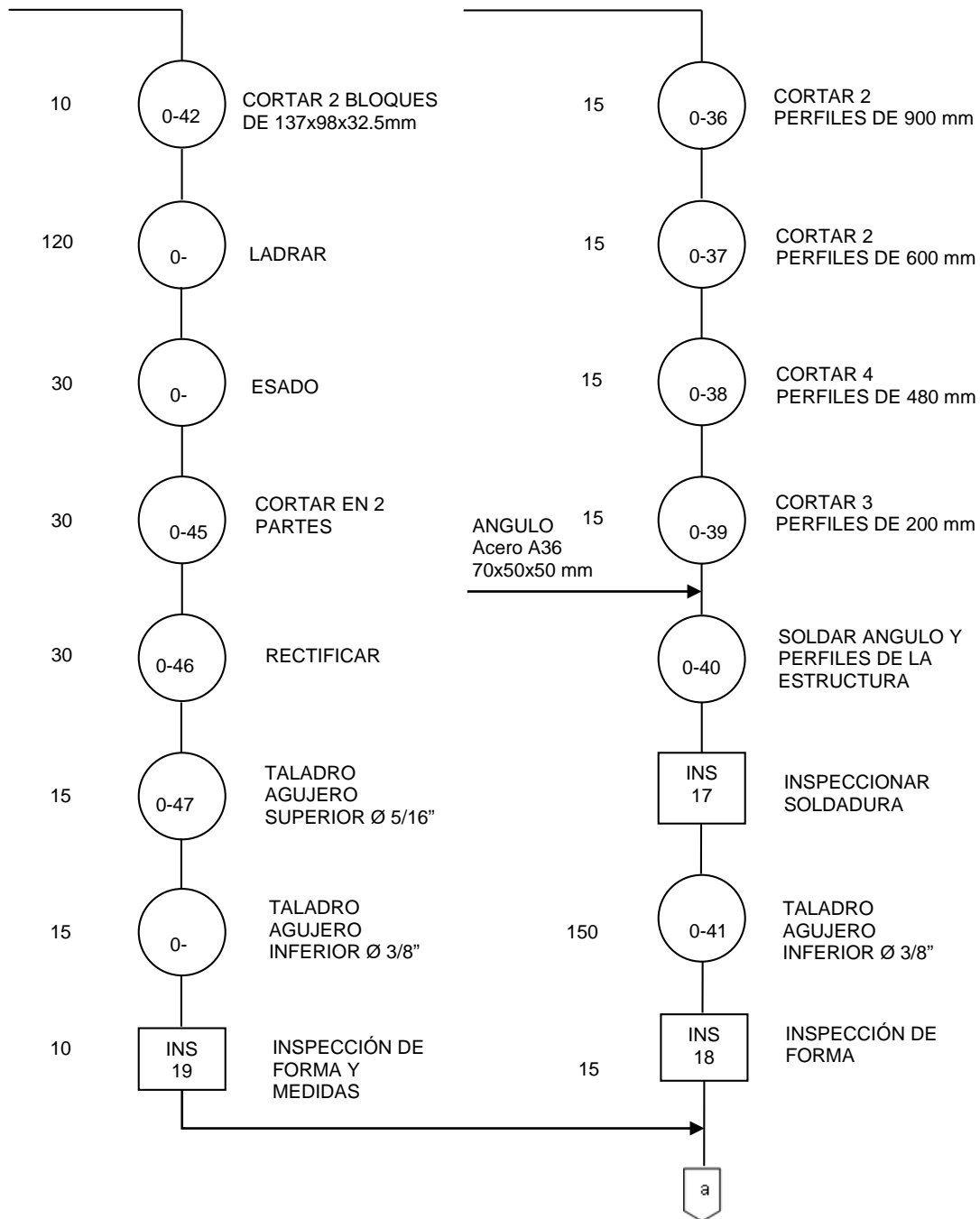


Diagrama 6 Proceso de fabricación del Bastidor

## DIAGRAMA DE PROCESO DEL BASTIDOR

ASUNTO DIAGRAMADO: Bastidor

PLANO N°: MQEX\_11 - 2011

SECCIÓN: Bastidor de la Micro Extrusora

FECHA DIAGRAMADO: 2011/12/28

DIAGRAMADO POR: P. Salazar y A. Villacrés

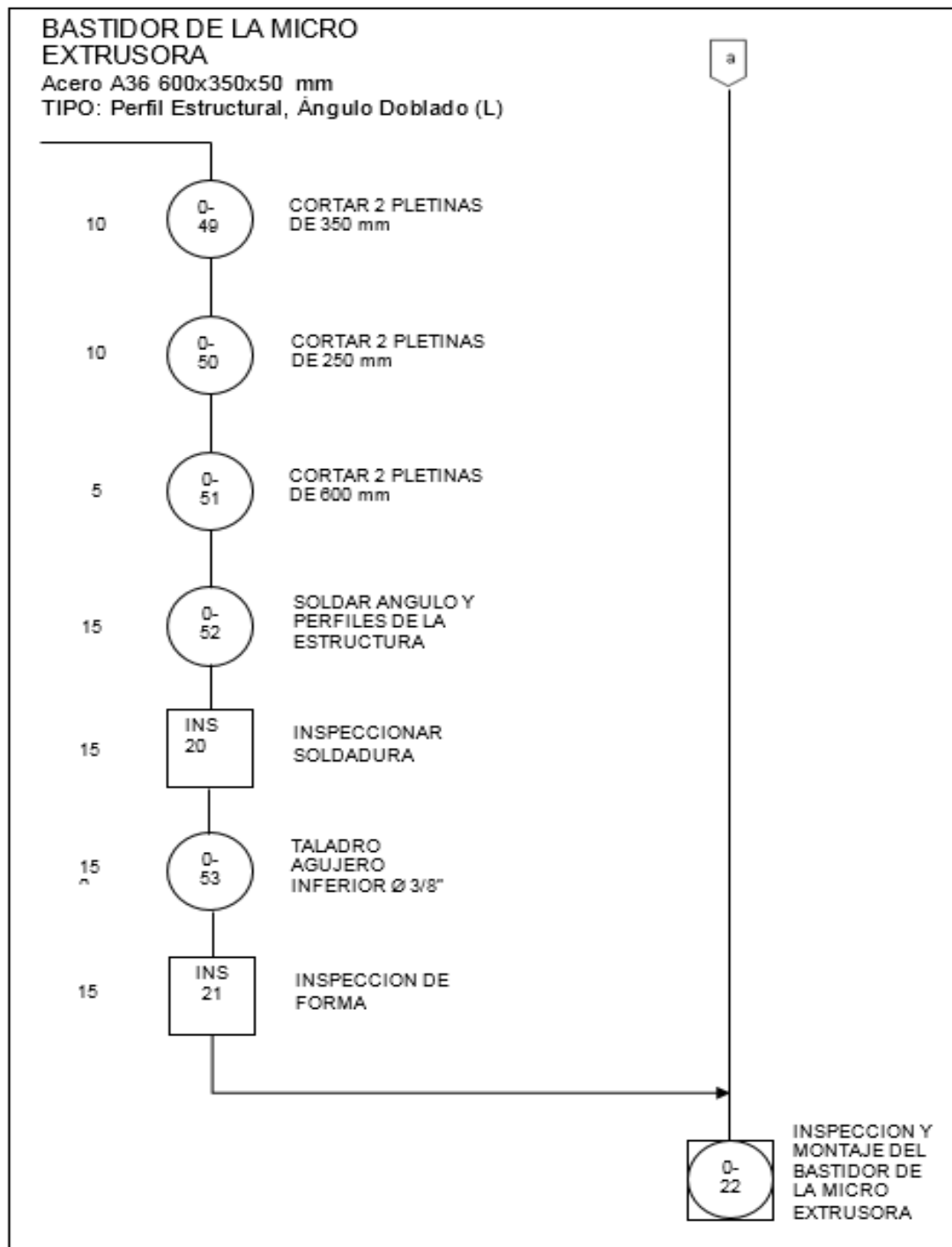


Diagrama 7 Proceso de fabricación del Bastidor (Continuación).

– **Análisis FEA del Bastidor de la Micro Extrusora (Análisis de Elementos Finitos)**

El presente análisis de elementos finitos corresponde al cálculo que se realizó en el programa SAP 2000 (Versión de Evaluación) para saber si los elementos que conforman el bastidor de la Micro Extrusora pueden fallar por la fuerza aplicada sobre este sistema.

**Tabla 25**

**Tabla del Control de Programa SAP 2000**

ProgramName	Version	ProgLevel	LicenseQS	LicenseSC	LicenseBR	CurrUnits	SteelCode	ConcCode	AlumCode	ColdCode	BridgeCode	RegenHinge
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text
SAP2000	12.0.0	Advanced	Yes	Yes	Yes	KN, m, C	SC-LRFD93	ACI 318-05/IBC2003	ASD 2000	ISI-ASD96	.SHTO LRFD 2007	Yes

**Tabla 26**

**Reacciones en las juntas del bastidor**

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
27	DEAD	LinStatic	-0,015	-0,0001835	0,087	0,00002797	-0,0013	0,00006392
30	DEAD	LinStatic	0,015	0,0008472	0,143	-0,00009431	0,0023	-0,00004432
31	DEAD	LinStatic	-0,015	0,0001835	0,087	-0,00002797	-0,0013	-0,00006392
32	DEAD	LinStatic	0,015	-0,0008472	0,143	0,00009431	0,0023	0,00004432

Tabla 27

## Desplazamientos de las juntas del bastidor

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
17	DEAD	LinStatic	6,801E-07	0	-0,000001965	1,44E-20	0,000069	-1,477E-19
18	DEAD	LinStatic	6,748E-07	0	-0,000004622	-1,427E-20	-0,000056	3,293E-20
19	DEAD	LinStatic	0,000000663	1,108E-08	-0,000003383	-0,000004356	0,000004383	-1,954E-08
20	DEAD	LinStatic	6,891E-07	1,365E-08	-7,685E-07	-0,000003728	0,000003457	-1,91E-08
21	DEAD	LinStatic	6,891E-07	-1,365E-08	-7,685E-07	0,000003728	0,000003457	1,91E-08
22	DEAD	LinStatic	0,000000663	-1,108E-08	-0,000003383	0,000004356	0,000004383	1,954E-08
23	DEAD	LinStatic	-4,858E-07	-2,022E-07	-0,000003145	8,007E-07	-0,000001663	1,994E-07
24	DEAD	LinStatic	-5,197E-07	-4,371E-09	-2,929E-07	-5,387E-08	-0,000008241	4,727E-07
25	DEAD	LinStatic	-4,537E-07	-1,267E-08	-0,000000506	3,971E-07	0,000003841	-3,278E-07
26	DEAD	LinStatic	-5,197E-07	4,371E-09	-2,929E-07	5,387E-08	-0,000008241	-4,727E-07
27	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
28	DEAD	LinStatic	-4,858E-07	2,022E-07	-0,000003145	-8,007E-07	-0,000001663	-1,994E-07
29	DEAD	LinStatic	-4,537E-07	1,267E-08	-0,000000506	-3,971E-07	0,000003841	3,278E-07
30	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
31	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
32	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0

**Conclusión:**

Los valores de la tabla 6.4, representan las fuerzas en KN que van a soportar las juntas del bastidor, en este caso vemos que los valores de estos son mínimos.

Los valores mostrados en la tabla 6.5 muestra el desplazamiento en metros de las uniones soldadas, por lo cual logramos ver que estos desplazamientos también son mínimos.

Resumiendo lo anterior dicho podemos decir que el bastidor con una carga de 100 N que representa la suma de las masas del sistema micro extrusor (Ver Capitulo 5, Masas del sistema micro extrusor) y multiplicado por la gravedad, no hay falla del bastidor por dicha fuerza aplicada.

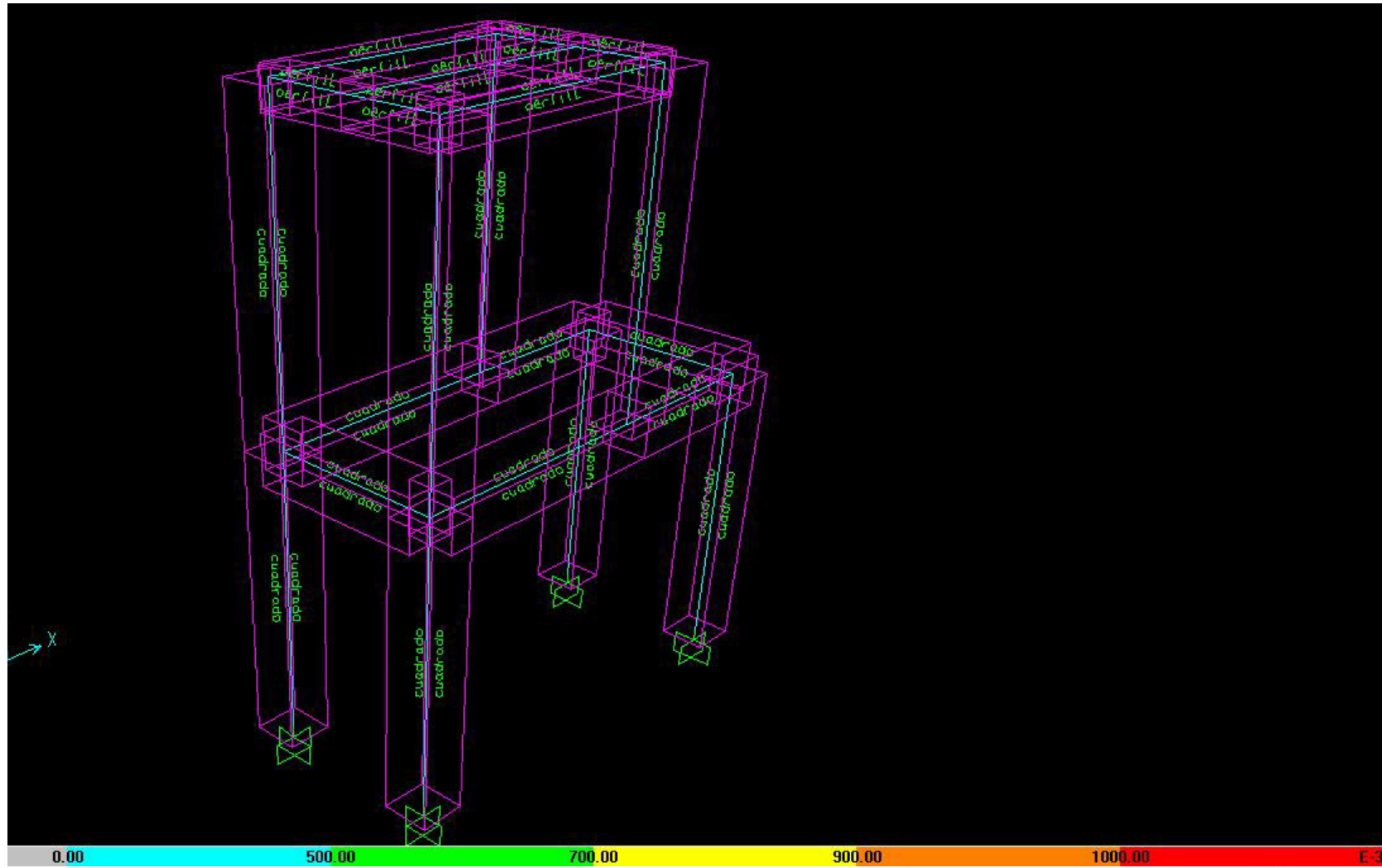
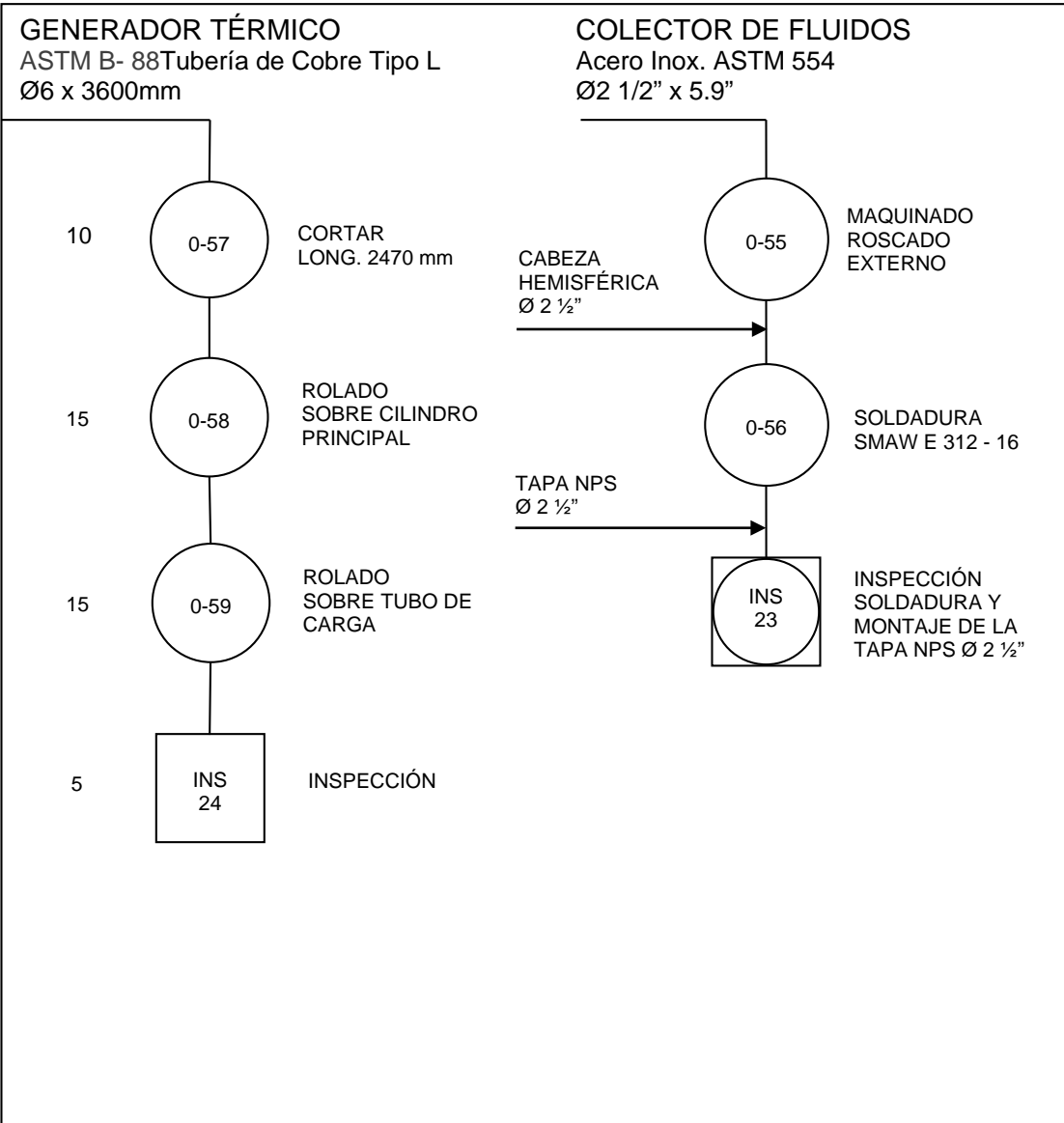


Figura 37 Imagen de SAP 2000 de análisis FEA del bastidor.

**6.5 GENERADOR TÉRMICO Y COLECTOR DE FLUIDOS**  
**DIAGRAMA DE PROCESO DE GENERADOR TÉRMICO Y COLECTOR DE FLUIDOS**

**ASUNTO DIAGRAMADO:** Generador Térmico y Colector de Fluidos  
**PLANO N°:** MQEX\_GENERAL - 2011, MQEX\_01 – 2011, MQEX\_10 - 2011  
**SECCIÓN:** Generador Térmico y Colector de Fluidos  
**FECHA DIAGRAMADO:** 2012/12/31 **DIAGRAMADO POR:** P. Salazar y A. Villacrés

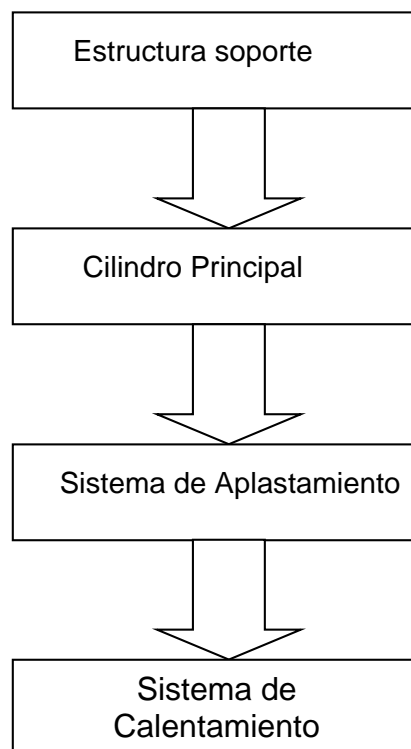


**Diagrama 8 Proceso de fabricación de Generador Térmico y Colector de Fluidos.**

## 6.6 ENSAMBLE

En el capítulo anterior se diseñó la máquina y sus diferentes elementos, y en lo que se refiere al sistema de extrusión tenemos un mecanismo que está compuesto por un cilindro principal, un pistón, una unidad de calentamiento, un dado de extrusión, una tolva de carga para el ingreso de la biomasa, una unidad de recolección de combustible y un bastidor. Las partes que están sometidas a calor sobre el cilindro principal serán cubiertas con capas térmicas para evitar quemaduras al momento de utilizar la micro-extrusora.

La máquina está constituida por 4 sistemas fundamentales que son:



**Diagrama 9** Ensamble de la máquina



– **Estructura soporte**

La estructura de la micro extrusora, conformado por tubo cuadrado soldado alineadamente, en la cual soldado a este se encuentra el bastidor, estos dos elementos son apoyo de todos los sistemas siguientes. Otro elemento que sirve como apoyo son las pletinas de anclaje empernadas, sobre las cuales reposa el cilindro principal junto con el pistón y el sistema de calentamiento.

– **Cilindro Principal**

Es el elemento más importante de la maquina puesto que en su interior se produce la pirólisis de biomasa aumentando la presión y la temperatura.

También al cilindro principal lo componen los siguientes elementos:

Tapa del cilindro principal, que se ha escogido de una serie de formas tentativas en el diseño tiene forma circular y en un extremo se ha hecho una perforación con el fin de conectar un nepló para recolectar líquido del proceso de extrusión, se ajusta perfectamente al diámetro externo e interno del cilindro principal con un seguro o acople rápido enroscable.

Dado Extrusor, cumple la función de separar y extruir la biomasa sólida de la líquida

Tubo de Carga & Manhole esta soldado al cilindro en la parte superior sirve para introducir la biomasa dentro del cilindro, el manhole cubre al tubo de carga para evitar el escape del gas producto de la pirólisis.

Colector de Fluidos es un recipiente a presión interna que recolecta el gas producto de la pirólisis dentro de la cámara del cilindro principal.

Además el cilindro principal es también el soporte del generador térmico.

### – Sistema de Aplastamiento

Porto Marca Truper 10 ton con este elemento hidráulico podemos desplazar el pistón que conecta al cilindro principal para realizar la extrusión dentro de la cámara llena de biomasa

Embolo este elemento cilíndrico de masa uniforme es empujado por el pistón conectado al cilindro principal el cual ejerce la fuerza longitudinal dentro del mismo, la fuerza de empuje del pistón está dada por el porto hidráulico marca Truper. Buje Recuperador con este mecanismo logramos hacer que el embolo regrese junto al pistón cuando giramos la perilla de retroceso en el porto, así podemos realizar varias cargas de biomasa dentro de la cámara de extrusión.

### – Sistema de Calentamiento

Generador Térmico está compuesto por varios elementos primero una resistencia eléctrica de 600 Watt conformada por 7 anillos en espiral envueltos en el cilindro principal. Un segundo arreglo de resistencias eléctricas de 3 anillos que se encuentran en el cilindro de carga este sistema nos ayuda a evaporar los gases que se generan del proceso en la cámara de extrusión los cuales se recolectan en el recipiente a presión en la parte superior.

Para evitar un accidente se ha colocado una capa de aislante térmico sobre las resistencias eléctricas y sobre ellas una caja de acero inoxidable que rodea a todas estas partes, unida por medio de pernos para facilitar su desmontaje. Además de los sistemas y elementos mencionados anteriormente es importante recalcar que para poder medir parámetros de la micro extrusora es necesario colocar una instrumentación apropiada para este tipo de máquina y proceso, en este caso sabemos de capítulos anteriores que en la pirólisis se produce cuando hay dos condiciones específicas. La primera es la temperatura que para nuestro caso serán 280°C, y la segunda es la presión que aproximadamente deberá llegar a 30 bar por efecto de la introducción de varias cargas de biomas en diferentes etapas dentro del cilindro principal.

Para controlar estos parámetros en el caso de la temperatura tenemos una termocupla tipo J la cual censa al estar contacto con la biomasa dentro de la cámara, este dispositivo está conectado a una caja de control de temperatura que controla las resistencias. Es decir que las resistencias se encienden o se apagan hasta que la temperatura alcance los 280°C. La unidad de regulación de la temperatura es de simple manejo y dispone de un indicador análogo para indicar el valor nominal de temperatura.

Para el caso de la presión tenemos 2 manómetros, uno para el porto y el otro está conectado al recipiente a presión interna que recolecta el gas del proceso.

A continuación se encuentran dos fotografías de la maquina micro extrusora experimental de biomasa.

– ***Máquina completa***



**Figura 38 Máquina completa**



**Figura 39 Máquina completa**

En el siguiente diagrama de proceso se puede observar el ensamble total de la máquina:

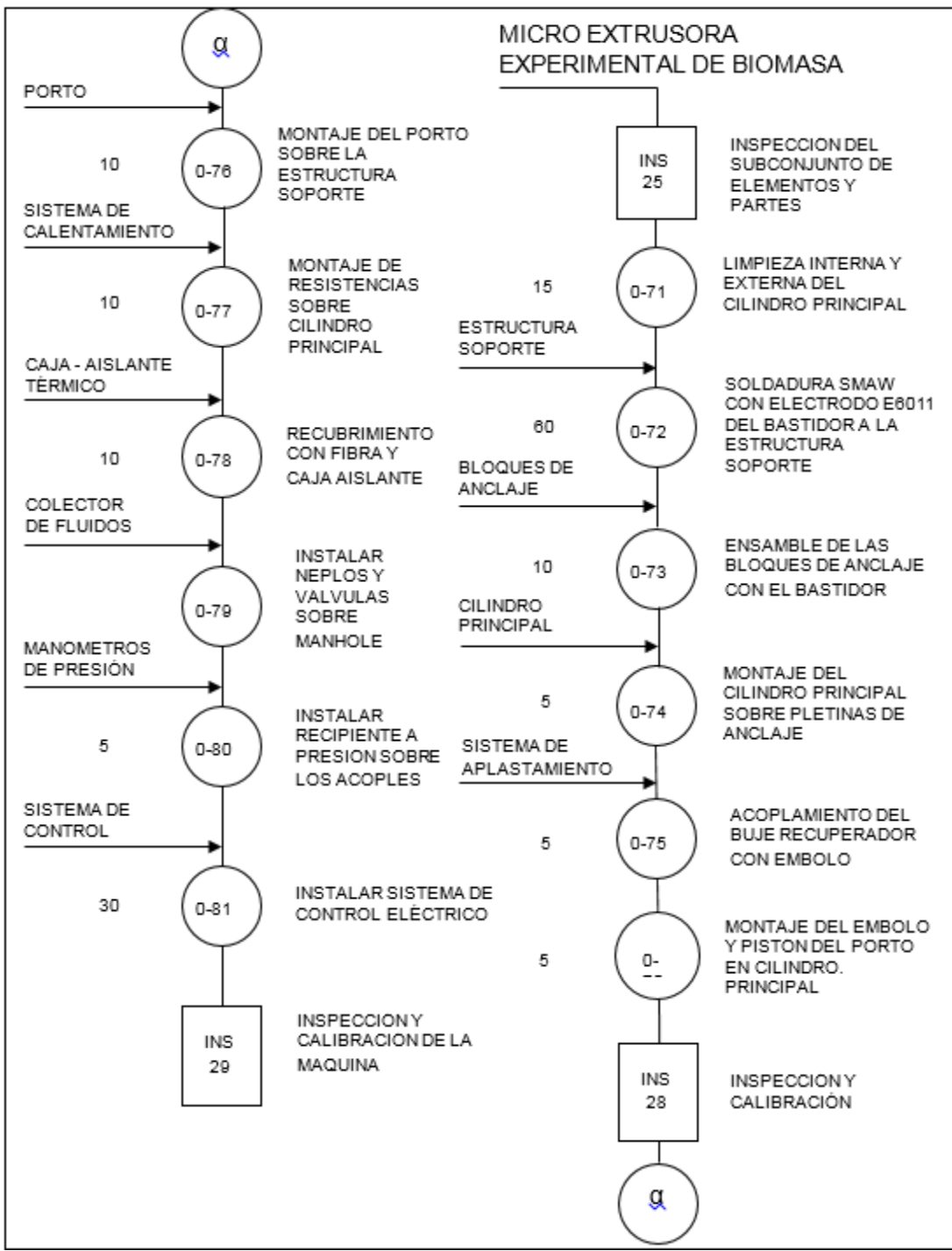
### DIAGRAMA DEL PROCESO DE ENSAMBLE DE LA MÁQUINA

**ASUNTO DIAGRAMADO:** Equipo completo

**PLANO N°:** MQEX\_GENERAL – 2011

**SECCIÓN:** Ensamblaje

**DIAGRAMADO POR:** P. Salazar y A. Villacrés



**Diagrama 10** Proceso de ensamble de la máquina

## CAPITULO 7

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 7.1 PARÁMETROS DE VERIFICACIÓN

Este capítulo se dedica a la presentación y análisis de las pruebas de pirolisis de palma africana que se realizó en la máquina micro extrusora experimental de biomasa, con las diferentes mediciones de combustibles sólido, líquido y gaseoso generados en el proceso. Inicialmente se presenta el procedimiento de uso del equipo así como los resultados de los diferentes parámetros que podemos leer en la micro extrusora.

#### 7.2 FORMATO DE PRUEBAS

Se determina primero el procedimiento requerido para la obtención de combustible, dicho procedimiento se desarrolló después de realizar algunas pruebas de funcionamiento de la micro extrusora experimental de obtención de combustible a partir de biomasa.

**Procedimiento para la obtención de biocombustibles y uso de la micro extrusora experimental de biomasa:**

1. Preparar los acoples rápidos en las mangueras de diámetro ¼” de las cánulas que van a contener el biogás.
2. Triturar en un molino de maíz la biomasa seleccionada.
3. Pesar en la balanza la biomasa triturada, aproximadamente se debe preparar unos 600 gr. (0.6 kg.).

4. Colocar los 0.6 kg de biomasa dentro del cilindro principal de la máquina micro extrusora a través del tubo de carga.
5. Una vez colocada la biomasa dentro de la micro extrusora se debe asegurar el manhole sobre el cilindro de carga con el acople rápido y en la parte delantera del cilindro principal, se debe asegurar la tapa principal, para ello se debe tomar en cuenta que en cada una de estos elementos existen diferentes tipos de empaques o sellos. Así entonces se colocará silicón rojo de alta temperatura sobre el empaque de color negro donde se aprieta la tapa delantera del cilindro principal. Como también el empaque blanco de teflón que va en el tubo de carga.
6. Una vez montadas las dos tapas, procedemos a conectar mediante los diferentes acoples el cilindro recolector de gas en la parte superior del cilindro de carga y la válvula de purga en la parte frontal del cilindro principal.
7. Una vez conectadas las tuberías y acoples de la máquina, y de asegurarse que estas se encuentren bien selladas, conectamos la máquina a una fuente de 110 V.
8. Se procede a colocar con los botones del control de temperatura el número 280°C para que las resistencias del cilindro principal alcancen dicha temperatura.
9. Desde este punto se pueden tomar datos de la máquina, tiempo, presión en el porto, presión en el cilindro colector de gas y la temperatura en la caja de control.
10. Se aumenta la presión con el porto de 10 ton hasta que el manómetro alcance 6000 PSI.

11. Cuando la temperatura alcance los 100°C en la caja de control se procede a encender el sistema de calentador auxiliar del cilindro de carga.
12. Aproximadamente transcurrirá de 40 a 50 minutos hasta que la presión en el colector de gases alcance una presión de 20 bar.
13. Una vez alcanzada la presión requerida se deberá conectar al acople rápido en la parte lateral del tanque a la cánula recolectora de gas.
14. Conectado el acople rápido a la válvula esta se debe abrir lentamente para que el gas contenido dentro del cilindro llene la cánula recolectora.
15. El procedimiento anterior se debe repetir dos veces más, para así recolectar tres muestras de gas.
16. Se debe apagar las resistencias del calentador auxiliar y del cilindro principal.
17. Desconectar la caja de control de la fuente de 110 V.
18. Una vez recolectado el gas y desconectadas las resistencias, se debe desmontar el cilindro recolector de la parte superior.
19. Abrir el manhole del cilindro de carga.
20. Se procede a desmontar el cilindro principal de las bridas que mantienen prisionero al bastidor.
21. Con precaución giramos el cilindro principal y recolectamos el líquido en los embaces herméticos previamente preparados.



22. Montamos nuevamente el cilindro principal a las bridas soporte de la estructura e inmediatamente desmontamos la tapa frontal del cilindro principal.

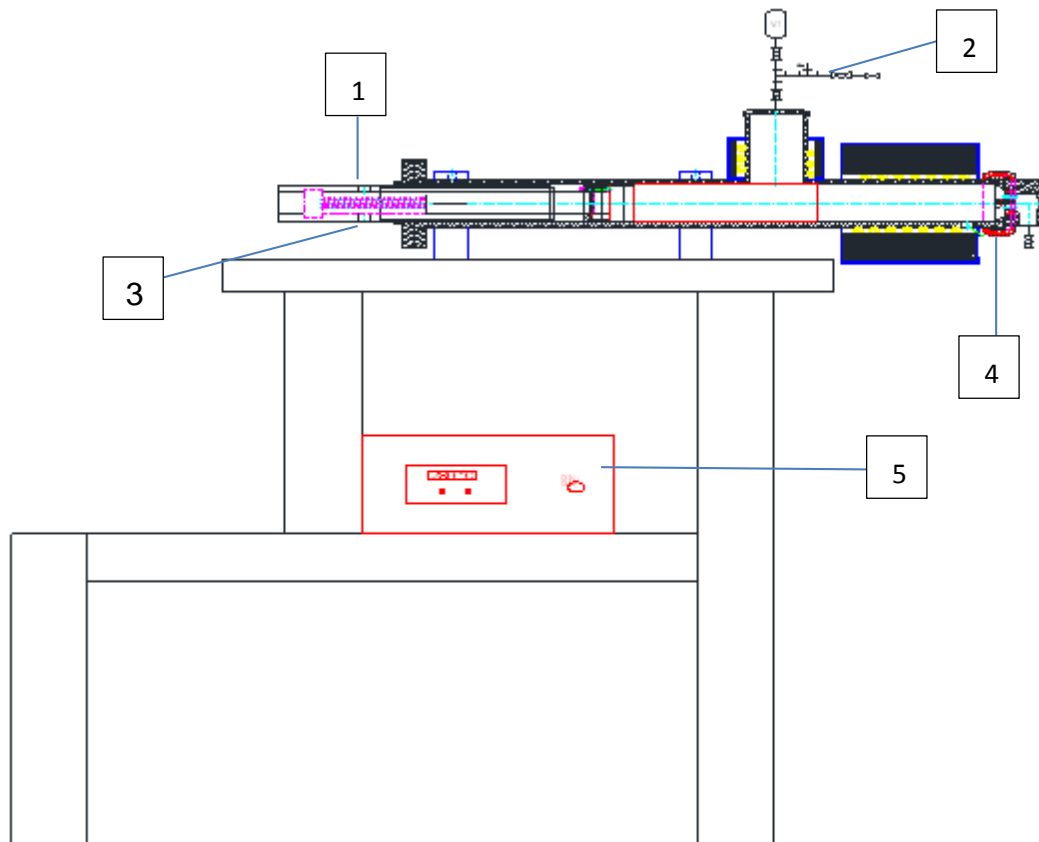
23. Una vez desmontada esta tapa podemos retirar la briqueta en estado sólido que obtenemos después de este proceso.

### **7.3 VARIABLES A SER MEDIDAS**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente para la obtención de los multi combustibles se tiene que llevar a cabo la pirolisis y para lo cual se tiene que dar un aumento de presión y de temperatura.

Las variables a ser controladas en la micro extrusora son:

- Temperatura en el cilindro principal.
- Presión en el Porto.
- Presión en el tanque de recolección.
- Tiempo de trabajo de la máquina.



1. Manómetro de 10.000 PSI
2. Manómetro de 40 Bar
3. Bomba del puerto
4. Termocupla
5. Sistema de control de temperatura

**Figura 40 Esquema de las variables a ser controladas**

Una vez identificadas las variables a ser controladas, se debe seleccionar la instrumentación adecuada para hacerlo, de tal manera que se han elegido los siguientes equipos:

- Termocupla controlada a través de una caja de control
- Manómetro      apreciación: 1 bar      rango: 0 – 41 bar
- Manómetro      apreciación: 200 psi      rango: 0 – 10.000 psi

Accesorios adicionales:

- Cánulas para recolección del combustible gaseoso.
- Acoples rápidos para conectar cánula con el desfogue del tanque de recolección.

### **Equipo utilizado**

Las herramientas de la máquina con las cuales se puede realizar las pruebas tienen las siguientes características:

- Molino de maíz
- Llave para desmontar tapa principal
- Llave # 14
- Llave tipo allen # 3 y # 10
- Llave de Pico 2"
- Balanza de apreciación 0.025 kg.
- Cubeta de masa 0.075 kg
- Cronómetro digital
- 10 libras de palma africana
- Recipientes recolector herméticos de plástico
- Cánulas recolectoras de gas con manguera ¼"
- Acople rápido de ¼ "
- Silicón (Red High Temp)

Tabla 28

## Registro de las Pruebas Micro-Extrusora experimental

PRUEBA N°1			
Fecha:	01-jul-14	Masa Sólida después del proceso (gr):	325
Materia Prima Utilizada:	Nuez de palma Africana		
Carga Inicial Biomasa Sólida (gr):	607.33	Masa Líquida después del proceso (gr):	100
Hora Inicial:	14:30	Número de cánulas de gas recogidas	1
Hora Final:	15:15	Masa de gas recogido (gr)	-
PRUEBA N°2			
Fecha:	01-jul-14	Masa Sólida después del proceso (gr):	250
Materia Prima Utilizada:	Nuez de palma Africana		
Carga Inicial Biomasa Sólida (gr):	631.29	Masa Líquida después del proceso (gr):	175
Hora Inicial:	15:40	Número de cánulas de gas recogidas	4
Hora Final:	16:50	Masa de gas recogido (gr)	-
PRUEBA N°3			
Fecha:	02-jul-14	Masa Sólida después del proceso (gr):	275
Materia Prima Utilizada:	Nuez de palma Africana		
Carga Inicial Biomasa Sólida (gr):	593,25	Masa Líquida después del proceso (gr):	285
Hora Inicial:	9:00	Número de cánulas de gas recogidas	3
Hora Final:	10:10	Masa de gas recogido (gr)	-
PRUEBA N°4			
Fecha:	02-jul-14	Masa Sólida después del proceso (gr):	225
Materia Prima Utilizada:	Nuez de palma Africana		

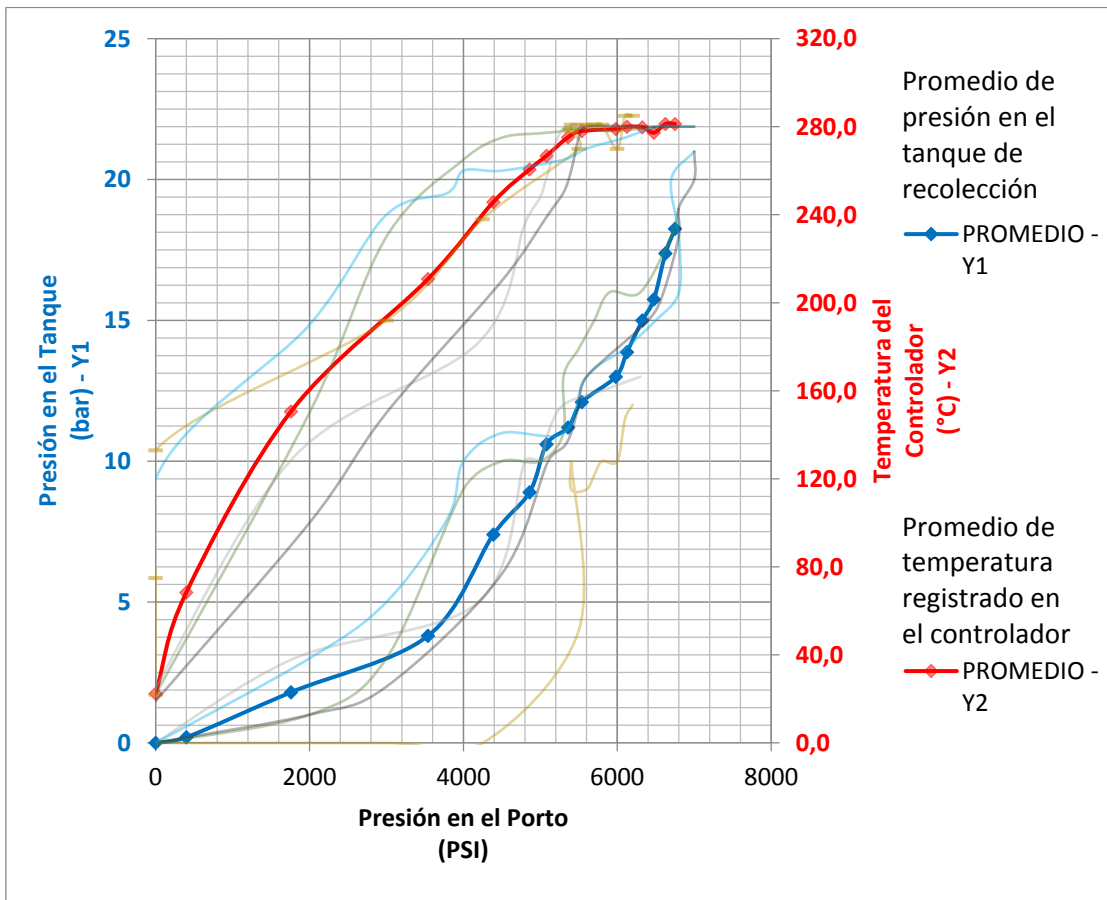
CONTINÚA

<b>Carga Inicial Biomasa Sólida (gr):</b>	592,68	<b>Masa Líquida después del proceso (gr):</b>	230
<b>Hora Inicial:</b>	10:35	<b>Número de cánulas de gas recogidas</b>	3
<b>Hora Final:</b>	11:45	<b>Masa de gas recogido (gr)</b>	-
<b>PRUEBA N°5</b>			
<b>Fecha:</b>	03-ene-12	<b>Masa Sólida después del proceso (gr):</b>	352
<b>Materia Prima Utilizada:</b>	Nuez de palma Africana		
<b>Carga Inicial Biomasa Sólida (gr):</b>	600	<b>Masa Líquida después del proceso (gr):</b>	175
<b>Hora Inicial:</b>	16:19	<b>Número de cánulas de gas recogidas</b>	3
<b>Hora Final:</b>	17:39	<b>Masa de gas recogido (gr)</b>	73

Tabla 29

**Análisis estadístico de las pruebas con la micro extrusora experimental de biomasa.**

Unidad	Presión en el Porto						Presión en el Tanque					Temperatura en la pared del cilindro						
	X						Y1					Y2						
	PSI						bar					°C						
Tiempo (min)	# de Prueba					PROMEDIO X	# de Prueba					PROMEDIO Y1	# de Prueba					PROMEDIO Y2
	P1	P2	P3	P4	P5		P1	P2	P3	P4	P5		P1	P2	P3	P4	P5	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	22	22	24	19	22,4
5	0	0	0	0	2000	400	0	0	0	0	1	0,2	25	75	22	120	100	68,4
10	1800	0	2000	2000	3000	1760	3	0	1	3	2	1,8	130	133	150	190	150	150,6
15	4200	3000	3000	3000	4500	3540	5	0	3	5	6	3,8	182	192	230	240	210	210,8
20	4800	4250	4000	3800	5100	4390	10	0	9	8	10	7,4	236	238	265	250	240	245,8
25	5000	5500	4500	4000	5300	4860	10	4	10	10	10,5	8,9	248	270	275	260	250	260,6
30	5100	5400	5000	4500	5400	5080	11	10	10	11	11	10,6	259	278	277	260	260	266,8
35	5300	5400	5300	5300	5500	5360	12	10	11	11	12	11,2	279	279	278	265	275	275,2
40	5600	5400	5300	5600	5600	5540	12,5	9	13	13	13	12,1	280	281	279	270	280	278,0
45	6300	5600	5500	6100	6400	5980	13	9	14	14	15	13,0	280	281	279	275	280	279,0
50		5700	5700	6500	6600	6125		9,5	15	15	16	13,9		281	279	280	280	280,0
55		5800	5900	6800	6800	6325		10	16	16	18	15,0		281	278	280	280	279,8
60		6000	6300	6800	6800	6475		10	16	18	19	15,8		270	279	280	280	277,3
65		6100	6700	6700	7000	6625		11,5	18	20	20	17,4		285	280	280	280	281,3
70		6200	6800	7000	7000	6750		12	19	21	21	18,3		285	280	280	280	281,3



**Diagrama 11 Análisis de los resultados**

### Análisis de resultados

- La línea de color azul en el Diagrama 11 nos indica la variación de presión en el tanque de recolección el cuál alcanzó una presión promedio de 18,3 bar. El tiempo con el que se hizo las pruebas es alrededor de 1 hora y 10 minutos (70 min) para el cuál se ha obtenido el mayor puntaje.
- Tiempos menores de extrusión a 35 minutos por ejemplo producen una falta de condiciones para que se produzca la pirolisis de biomasa, además las resistencias no alcanzan aun la temperatura necesaria, y tampoco se puede observar el aumento de presión.

- Tiempos mayores de extrusión con elevación de temperatura a 70 minutos producen carbonización de la materia prima dentro del cilindro principal.
- La máquina como se puede observar en la línea de color rojo del diagrama 11, puede trabajar con promedio de temperaturas entre un rango de 22 a 281°C y no tiene problema alguno, mientras no falle por operación los empaques del cilindro principal y el empaque del tubo de carga.

#### 7.4 PRUEBA EN BOMBA CALORIMÉTRICA PARA COMBUSTIBLE SÓLIDO Y LÍQUIDO

El ensayo consistió en obtener de la máquina micro extrusora experimental de biomasa una muestra de aceite de palma africana, así como el desecho sólido que podemos retirar del cilindro principal después del proceso. Este ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Termodinámica del departamento de Ciencias e Ingeniería Mecánica.

**Tabla 30**

##### Resultados de combustible sólido y líquido

DATOS PARA EL EQUIPO			
		Valor	Unidad
1	Valor Calórico del Ácido Benzoico	26454	J/gr
2	Peso del Ácido Benzoico	1	gr
3	Energía liberada por el acido	26454	J
4	Temperatura Inicial	20,6	°C
5	Temperatura Final	22,68	°C
6	Incremento de Temperatura	2,08	°C
7	Capacidad calórica total de la máquina (Bomba Calorimétrica Adiabática)	12718,27	J/°C



<b>VALORES DE LAS MUESTRAS</b>
--------------------------------

**ACEITE PALMA AFRICANA**

10	Peso del Aceite de Palma Africana	0,8	gr
11	Ti	20,95	°C
12	Tf	22,73	°C
13	$\Delta T$	1,78	°C
14	Energía Total Liberada	22638,52	J
15	Valor calórico de la muestra	28298,15	J/gr

**PALMISTE (1RA MUESTRA)**

10	Peso del Aceite de Palma Africana	0,8	gr
11	Ti	20,2	°C
12	Tf	21,65	°C
13	$\Delta T$	1,45	°C
14	Energía Total Liberada	18441,49	J
15	Valor calórico de la muestra	23051,86	J/gr

**PALMISTE (2DA MUESTRA)**

10	Peso del Aceite de Palma Africana	0,8	gr
11	Ti	20,6	°C
12	Tf	21,95	°C
13	$\Delta T$	1,35	°C
14	Energía Total Liberada	17169,66	J
15	Valor calórico de la muestra	21462,08	J/gr

### PALMISTE (3RA MUESTRA)

10	Peso del Aceite de Palma Africana	0,8	gr
11	Ti	20,99	°C
12	Tf	22,33	°C
13	$\Delta T$	1,34	°C
14	Energía Total Liberada	17042,48	J
15	Valor calórico de la muestra	21303,10	J/gr

De los datos anteriormente obtenidos en el laboratorio tenemos los siguientes resultados:

#### Tabla 31

#### Poder Calórico Superior de combustible sólido y líquido

<b>PCS de Aceite de Palma Africana (muestra líquida):</b>	<b>28298,15 J/gr</b>
<b>PCS del Palmiste (muestra sólida):</b>	<b>21939,01 J/gr</b>

### 7.5 HUMEDAD INICIAL Y FINAL DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO

En cuanto a los resultados obtenidos de humedad y cenizas en las muestras de palma africana, nuez de palma y palma africana después del proceso térmico, fueron realizados con la finalidad de determinar la cantidad de agua que posee la biomasa sin procesar y luego de sufrir el procedimiento de pirolisis, saber cuánto fue la pérdida de agua.

Esto se ve reflejado en los resultados ya que el fruto como tal tiene un valor de 20.68% de humedad y luego del proceso esa humedad se reduce a 2.73%, por tal motivo el valor de las cenizas que el inicio era de 1.75% aumenta al 3.19%.

## 7.6 VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE LÍQUIDO

El ensayo consistió en obtener de la máquina micro extrusora experimental de biomasa una muestra de aceite de palma africana 200 cm<sup>3</sup> de dicho proceso y en una botella de plástico, previamente seco y limpio recolectamos el biocombustible.

Colocamos en el Viscosímetro Universal Saybolt 60 cm<sup>3</sup> de aceite de palma africana y tomando en cuenta que la prueba de nuestro biocombustible debe realizarse en temperatura ambiente procedemos a realizar con un cronómetro cinco tomas de datos del tiempo que demora llenar un matraz de 60 cm<sup>3</sup> del aceite en dicho recipiente, a continuación realizamos una media de estos datos y encontramos el tiempo referencial.

Como el tiempo que demoro en llenarse el matraz de 60 cm<sup>3</sup> fue mayor a 100 segundos ocupamos una formula posteriormente descrita, la cual se encuentra en el manual del Viscosímetro Universal marca Saybolt que se encuentra en el laboratorio de mecánica de fluidos del departamento de Ciencia de Ingeniería y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejercito.

$$\delta_{\text{agua}} := 1 \quad \text{g / cm}^3$$

$$\delta_{\text{absoluta}} := 0.9 \quad \text{g / cm}^3 \quad \text{ACEITE DE PALMA AFRICANA}$$

$$\delta_{\text{relativa}} := \frac{\delta_{\text{absoluta}}}{\delta_{\text{agua}}}$$

$$\delta_{\text{relativa}} = 0.9$$

### Viscosidad Dinámica

$$t := 709.8 \quad \text{s}$$

$$\mu := \left( 0.00220 \cdot t - \frac{1.35}{t} \right) \cdot \delta_{\text{relativa}}$$

$$\mu = 1.404 \quad \text{poises}$$

### Viscosidad Cinemática

$$t1 := 709.8 \quad \text{s}$$

$$v := \left( 0.00220 \cdot t1 - \frac{1.35}{t1} \right)$$

$$v = 1.56 \quad \text{stokes}$$

## 7.7 PRUEBAS EN CROMATOGRAFO DE GASES

**Tabla 32**

### Resultados de la caracterización del Gas Obtenido

Gas	Porcentaje
Metano (CH <sub>4</sub> )	27,45
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	62,03
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	1,50
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	2,97
Vapor de Agua	6,05

## 7.8 BALANCE ENERGÉTICO DESPUÉS DE LOS RESULTADOS

Volumen del tanque de recolección

$$h_c := 6.77 \quad (\text{mm})$$

$$a_c := 27 \quad (\text{mm})$$

$$r_c := 60 \quad (\text{mm})$$

$$V_c := \frac{\pi h_c^2}{3} \cdot (3r_c - h_c)$$

$$V_c = 8314.365 \quad (\text{mm}^3) \quad \text{Volumen del casquete}$$

$$h_{\text{cil}} := 150 \quad (\text{mm})$$

$$\phi_{\text{cil}} := 60 \quad (\text{mm})$$

$$V_{\text{cil}} := h_{\text{cil}} \cdot \frac{\pi \phi_{\text{cil}}^2}{4}$$

$$V_{\text{cil}} = 424115.008 \quad (\text{mm}^3) \quad \text{Volumen cilindro}$$

$$V_t := \frac{V_{\text{cil}} + 2V_c}{1000^3}$$

$$V_t = 4.407 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^3) \quad \text{Volumen del tanque de recolección}$$

Calculo de la densidad a 21 bar (2100 KPa) y 280 C

$$T_o := 25 \quad (\text{C})$$

$$P_o := 101.325 \quad (\text{KPa})$$

$$\rho_{o\text{gas}} := 1.2 \quad (\text{Kg/m}^3) \quad \text{Densidad del gas a 25 C y 101.325 KPa}$$

$$T_f := 280 \quad (\text{C})$$

$$P_f := 2100 \quad (\text{KPa})$$

$$\rho_{f\text{gas}} := \frac{P_f \cdot \rho_{o\text{gas}} \cdot T_o}{P_o \cdot T_f}$$

$$\rho_{f\text{gas}} = 2.221 \quad (\text{Kg/m}^3) \quad \text{Densidad del gas a 21 bar y 280 C}$$

$$m_{\text{gas}} := \rho_{\text{gas}} \cdot V_t$$

$$m_{\text{gas}} = 9.787 \times 10^{-4} \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa del gas recolectado}$$

$$F_{\text{CH4}} := 27.45\%$$

$$m_{\text{CH4}} := F_{\text{CH4}} \cdot m_{\text{gas}}$$

$$m_{\text{CH4}} = 2.687 \times 10^{-4} \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa de combustible}$$

Trabajo electrico generado con por las resistencias electricas

$$P_e := 600 \quad (\text{W}) \quad \text{Potencia electrica de las resistencias de calentamiento}$$

$$t := 3600 \quad (\text{s}) \quad \text{Tiempo de calentamiento}$$

$$W_e := P_e \cdot t = 2.16 \times 10^6 \quad (\text{J})$$

Trabajo mecanico

$$P_a := 41368542 \quad (\text{Pa}) \quad \text{Presión de aplastamiento (6000 PSI)}$$

$$A_a := \pi \cdot 0.06^2$$

$$A_a = 0.011 \quad (\text{m}^2) \quad \text{Area sobre la cual se aplica la presión}$$

$$x := 0.15 \quad (\text{m}) \quad \text{Recorrido del cilindro principal}$$

$$W_m := P_a \cdot A_a \cdot x$$

$$W_m = 7.018 \times 10^4$$

Energia utilizada de la biomasa: de 0.1 Kg del fruto de palma africana se puede utilizar 531 Calorias (2223.19 Julios)

$$m_{\text{cmax}} := 0.6 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa de biomasa}$$

$$E_u := 2223.19 \quad (\text{J}) \quad \text{Energia en la biomasa por cada 100 gr}$$

$$E_b := \frac{m_{\text{cmax}}}{0.1} \cdot E_u$$

$$E_b = 1.334 \times 10^4 \quad (\text{J}) \quad \text{Energia ocupada de la biomasa}$$

Energia de salida

$$P_{\text{csolido}} := 21939.01 \quad (\text{J/gr}) \quad \text{Poder calorico superior del combustible solido}$$

$$m_{\text{solido}} := 0.352 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa del combustible solido}$$

$$P_{\text{cliquido}} := 28298.15 \quad (\text{J/gr}) \quad \text{Poder calorico superior del combustible liquido}$$

$$m_{\text{liquido}} := 0.175 \quad (\text{Kg}) \quad \text{Masa del combustible liquido}$$

$$P_{\text{cCH4}} := 21495 \quad (\text{BTU/lb})$$

$$Pc_{CH_4} := Pc_{CH_4} \cdot (1054.825) \cdot (2.205)$$

$$Pc_{CH_4} = 4.999 \times 10^7 \quad (\text{J/Kg}) \quad \text{Poder calorico superior del combustible gaseoso}$$

$$Q_o := m_{\text{sólido}} \cdot Pc_{\text{sólido}} \cdot 1000 + m_{\text{líquido}} \cdot Pc_{\text{líquido}} \cdot 1000 + m_{CH_4} \cdot Pc_{CH_4}$$

$$Q_o = 1.269 \times 10^7 \quad (\text{J})$$

Energia utilizable

$$\Delta E := \frac{Q_o - W_m - W_e - E_b}{1000}$$

$$\Delta E = 10444.62 \quad (\text{KJ})$$

Se utiliza 2244 KJ de la corriente eléctrica, del dispositivo para elevar presión y de la biomasa para producir 10444.62 KJ.

## 7.9 BALANCE ECONÓMICO

Al realizar el balance es fácil darse cuenta que no es un proyecto económicamente rentable, pero hay que señalar que para hacerlo se basó en precios de combustibles en el mercado internacional y también se considera que la máquina no está diseñada para producción en serie y en tal virtud las cantidades que produce no son grandes por lo tanto no es rentable.

Los datos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 33**  
**Balance Económico de Rentabilidad del Proyecto.**  
**Costo unitario por carga de operación (70min)**

COSTOS (-)			COSTOS (+)		
<b>ENERGÉTICOS</b>			COMBUSTIBLES OBTENIDOS en (1h:10min) de operación - ver Tabla 27 PRUEBA N°5		
Potencia de Resistencias:	600	Watts	<b>GASEOSO</b>		
Tiempo operación máquina:	70	min	Masa de gas obtenido	0,073	kg
Energía Utilizada (W/min):	42000	Watts/min	% Metano (CH4) encontrado en el gas (ver Tabla 38)	27,45	%
Energía Utilizada (W/h):	700	Watts/h	Masa de CH4	0,020	kg
Energía Utilizada (kW/h):	0,7	kW/h	Densidad CH4	0,66	kg/m3
Costo kW/h (Ecuador):	0,11	\$ / kW/h	Volumen de CH4 obtenido	0,030	m3
Costo de operación 70 min	0,077	\$	Precio internacional de 1 m3 de CH4 1,08 \$ ~ 1,63 \$ Fuente: <a href="http://tagliabolletta.it/">http://tagliabolletta.it/</a>	1,63	\$ / m3
TOTAL x ENERGÉTICO:	0,077	\$	TOTAL x CH4	0,049	\$
<b>OPERATIVOS</b>			<b>LÍQUIDO</b>		
1 Persona	2	\$ / h	Masa de aceite de palmiste obtenido	0,175	kg
Tiempo operación máquina:	70	min	Precio internacional de tonelada métrica 1000 kg de aceite de palmiste. Fuente: <a href="http://www.ancupa.com">http://www.ancupa.com</a>	822	\$
TOTAL x OPERATIVO	2,33333	\$	TOTAL x aceite de palmiste	0,14	\$
<b>USO DE EQUIPO</b>			<b>SÓLIDO</b>		
Vida útil:	10	años	Masa de sólido obtenido	0,352	kg
Costo Total Máquina:	4752,55	\$	Precio internacional de Tonelada métrica 1000 kg de carbón. Fuente: <a href="http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/">http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/</a>	78	\$
Depreciación:	10%	c / año	TOTAL x sólido o carbón	0,03	\$
Valor máquina por año	427,73	\$ / año	<b>COSTO TOTAL DE COMBUSTIBLES OBTENIDOS A PARTIR DE 600 gr de nuez de palma africana</b>		
Valor máquina por día	1,17	\$ / día	0,22	\$	
Valor máquina por hora	0,05	\$ / h			
Tiempo operación máquina:	70	min			
TOTAL x USO DE EQUIPO:	0,06	\$			
<b>MATERIA PRIMA</b>					
Nuez de Palma Africana	600,00	gr			
1 Kg Nuez de palma africana	3,50	\$			
TOTAL x MATERIA PRIMA	2,10	\$			
<b>INSUMOS</b>					
Vida útil insumos:	3	años			
Depreciación	10%	c / año			
Recipientes recolectores	15	\$			
Equipo de Seguridad (gafas, guantes)	8	\$			
Herramientas	32	\$			
Valor insumos durante vida útil (Recipientes, equipo de seguridad y herramientas)	55,00	\$			
Valor insumos por año	16,50	\$			
Valor insumos por día	0,05	\$			
Valor insumos por hora	0,0019	\$			
Tiempo operación máquina:	70	min			
+ Valor de insumos por operación	0,0022	\$			
Kit de mantenimiento (10 pruebas)	25	\$			
+ Valor de Kit para 1 prueba	2,5	\$			
TOTAL x INSUMOS y KIT MTTO.	2,5022	\$			
<b>COSTO TOTAL DE OPERACIÓN</b>	<b>7,07</b>	<b>\$</b>			



<b>BALANCE ECONÓMICO</b>		
Ingresos	0,22	\$
Egresos	7,07	\$
<b>TOTAL</b>	<b>-6,85</b>	<b>\$</b>

## **7.10 CRITERIOS DE SEGURIDAD**

Se análisis de los criterios de seguridad para la instalación de los sistemas de la Micro extrusora y su puesta en funcionamiento, se establece la siguiente matriz de riesgos.

Tabla 34

Factores de Riesgo de Pruebas

MICRO EXTRUSORA		FACTORES DE RIESGO												CUALIFICACIÓN			
		ESTIMACIÓN	FACTORES FISICOS				FACTORES MECÁNICOS								ESTIMACION DEL RIESGO		
PROCESO ANALIZADO	ACTIVIDADES / TAREAS DEL PROCESO		temperatura elevada	presiones anormales (presión atmosférica, altitud geográfica)	Contacto con aceites y grasas	manejo eléctrico	manejo de herramienta cortante y/o punzante	caída de objetos en manipulación	proyección de sólidos o líquidos	superficies o materiales calientes	labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Trabajo de equipos altas presiones	recipientes o elementos a presión	presencia de puntos de ignición	RIESGO MODERADO	RIESGO IMPORTANTE	RIESGO INTOLERABLE
Pruebas técnicas de Micro extrusora de biomasa	1. Instalación y armado de maquina	P	0	0	0	2	1	1	0	0	2	0	0	0	3	1	0
		G	0	0	0	2	2	1	0	0	1	0	0	0			
		V	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0			
		TOTAL	0	0	0	5	4	3	0	0	4	0	0	0			

**Tabla 35**  
**Factores de Riesgo de Pruebas**

MICRO EXTRUSORA		FACTORES DE RIESGO													CUALIFICACIÓN		
		ESTIMACIÓN	FACTORES FISICOS				FACTORES MECÁNICOS							riesgo moderado		riesgo importante	riesgo intolerable
PROCESO ANALIZADO	ACTIVIDADES / TAREAS DEL PROCESO		temperatura elevada	presiones anormales (presión atmosférica, altitud geográfica)	Contacto con aceites y grasas	manejo eléctrico	manejo de herramienta cortante y/o punzante	caída de objetos en manipulación	proyección de sólidos o líquidos	superficies o materiales calientes	labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Trabajo de equipos altas presiones	recipientes o elementos a presión	presencia de puntos de ignición	RIESGO MODERADO	RIESGO IMPORTANTE	RIESGO INTOLERABLE
Pruebas técnicas de Micro extrusora de biomasa	1. Molienda de biomasa	P	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0
		G	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0			
		V	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0			
		TOTAL	0	0	3	0	0	3	4	0	0	0	0	0			

Tabla 36

Factores de Riesgo de Pruebas

MICRO EXTRUSORA		ESTIMACIÓN	FACTORES DE RIESGO												CUALIFICACIÓN		
			FACTORES FISICOS				FACTORES MECÁNICOS					ESTIMACION DEL RIESGO					
PROCESO ANALIZADO	ACTIVIDADES / TAREAS DEL PROCESO		temperatura elevada	presiones anormales (presión atmosférica, altitud geográfica)	Contacto con aceites y grasas	manejo eléctrico	manejo de herramienta cortante y/o punzante	caída de objetos en manipulación	proyección de sólidos o líquidos	superficies o materiales calientes	labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Trabajo de equipos altas presiones	recipientes o elementos a presión	presencia de puntos de ignición	RIESGO MODERADO	RIESGO IMPORTANTE	RIESGO INTOLERABLE
															MD	IP	IT
Pruebas técnicas de Micro extrusora de biomasa	3. Proceso de carga de biomasa	P	0	0	1	0	0	1	3	0	0	2	3	0	2	2	0
		G	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	0			
		V	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0			
		TOTAL	0	0	3	0	0	3	5	0	0	2	6	0			

Tabla 37

Factores de Riesgo de Pruebas

MICRO EXTRUSORA		ESTIMACIÓN	FACTORES DE RIESGO											CUALIFICACIÓN			
			FACTORES FISICOS				FACTORES MECÁNICOS							ESTIMACION DEL RIESGO			
PROCESO ANALIZADO	ACTIVIDADES/TAREAS DEL PROCESO		temperatura elevada	presiones anormales (presión atmosférica, altitud geográfica)	Contacto con aceites y grasas	manejo eléctrico	manejo de herramienta cortante y/o punzante	caída de objetos en manipulación	proyección de sólidos o líquidos	superficies o materiales calientes	labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Trabajo de equipos altas presiones	recipientes o elementos a presión	presencia de puntos de ignición	RIESGO MODERADO	RIESGO IMPORTANTE	RIESGO INTOLERABLE
															MD	IP	IT
Pruebas técnicas de Micro extrusora de biomasa	4. Pruebas técnicas de Micro extrusora	P	0	0	2	2	0	1	2	3	0	2	3	1	4	3	1
		G	0	0	1	2	0	1	1	3	0	3	2	2			
		V	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1			
		TOTAL	0	0	3	5	0	3	4	7	0	6	6	4			

**Tabla 38**  
**Factores de Riesgo de Pruebas**

MICRO EXTRUSORA		FACTORES DE RIESGO												CUALIIFICACIÓN			
		ESTIMACIÓN	FACTORES FISICOS				FACTORES MECÁNICOS								ESTIMACION DEL RIESGO		
PROCESO ANALIZADO	ACTIVIDADES / TAREAS DEL PROCESO		temperatura elevada	presiones anormales (presión atmosférica, altitud geográfica)	Contacto con aceites y grasas	manejo eléctrico	manejo de herramienta cortante y/o punzante	caída de objetos en manipulación	proyección de sólidos o líquidos	superficies o materiales calientes	labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Trabajo de equipos altas presiones	recipientes o elementos a presión	presencia de puntos de ignición	RIESGO MODERADO	RIESGO IMPORTANTE	RIESGO INTOLERABLE
		MD	IP	IT													
Pruebas técnicas de Micro extrusora de biomasa	5. Proceso de recolección de bio combustilbes	P	3	1	2	0	0	3	3	3	0	3	3	0	0	7	0
		G	2	0	2	0	0	2	2	2	0	2	2	0			
		V	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0			
		TOTAL	6	1	5	0	0	6	6	6	0	6	6	0			

Una vez establecidos los riesgos, se prioriza y se establecen las acciones necesarias para mitigarlos o eliminarlos, de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 39**

**Gestión Preventiva para mitigar o eliminar riesgos**

GESTIÓN PREVENTIVA					
FACTORES DE RIESGO PRIORIZADOS	FUENTE acciones de sustitución y control en el sitio de generación	MEDIO DE TRANSMISIÓN acciones de control y protección interpuestas entre la fuente generadora y el trabajador	TRABAJADOR mecanismos para evitar el contacto del factor de riesgo con el trabajador, EPPs, adiestramiento, capacitación	COMPLEMENTO apoyo a la gestión: señalización, información, comunicación, investigación	
superficies o materiales calientes	Sistema de control de temperatura	Elemento que controla la temperatura de la máquina	Uso de guantes de seguridad para manejo de superficies calientes	Instrucciones de como manejar superficies calientes	
manejo eléctrico	Buen estado de las conexiones y realizar instalación desconectada de la fuente	Programar rotaciones y/o pausas en el puesto de trabajo de forma provisional o definitiva, para evitar lesiones.	Uso de equipo de protección adecuado (Guantes)		
proyección de sólidos o líquidos			Uso de equipo de protección adecuado (Gafas de seguridad)		
Trabajos en equipos a altas presiones	Sistemas de control de presión	Manómetros con escalas adecuadas		Controlar los manómetros constantemente, y conocer la presión máxima	
Recipientes o elementos a alta presión			Uso de equipo de protección	Controlar los manómetros constantemente, y conocer la presión máxima	
Contacto con aceites y grasas			Uso de equipo de protección adecuado (Guantes)		
calda de objetos en manipulación			Uso de equipo de protección adecuado (Botas de seguridad)		
manejo de herramienta cortante y/o punzante	Herramienta en buen estado		Uso de equipo de protección adecuado (Guantes)		
Labores de mantenimiento de maquinaria e instalaciones	Equipos y herramientas en buen estado		capacitación de manejo de carga Dotar al personal de EPP's		

## CAPÍTULO 8

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 8.1 ANÁLISIS FINANCIERO

##### 8.1.1. COSTOS INDIRECTOS

**Tabla 40**

##### **Rubros Personales**

<b>Rubros Personales</b>				
<b>Nº</b>	<b>Profesionales</b>	<b>Nº Horas</b>	<b>\$/Hora</b>	<b>Total</b>
1	Ing. Tutor 1	20	50	1000
2	Ing. Tutor 2	20	50	1000
			<b>Total</b>	<b>2000</b>

**Tabla 41**

##### **Misceláneos**

<b>Misceláneos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>USD/Semana</b>	<b>Semanas</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Útiles de Oficina</b>	1	24	24
<b>Transporte</b>	4	24	96
<b>Internet</b>	5	24	120
<b>Servicios Básicos</b>	5	24	120
			<b>Total</b>
			<b>360</b>



## 8.1.2. COSTOS DIRECTOS

**Tabla 42**

### Insumos de Oficina

Insumos de Oficina				
Ord.	Cantidad	Descripción	C/unidad USD	Costo Total
1	2	Cartuchos de impresora	49	98
2	5	Impresión Plotter	1,5	7,5
3	5	Resma papel	3	15
4	1	Libros	50	50
5	2000	Copias	0,02	40
			<b>Total</b>	<b>210,5</b>

**Tabla 43**

### Accesorios Micro Extrusora

ACCESORIOS				
No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	AC/INOX/RED. 2" Retazo	0,02	83,42	1,67
2	Neplo/Inox 1/4x2"	3	2,68	8,04
3	Tee/Inox/Rsc 1/4"	1	1,34	1,34
4	Neplo/Inox 1/4x5"	2	3,84	7,68
5	Valv/Esf/Inox/Rsc 1/4"	2	9,82	19,64
6	Univelsal/Inox/Rsc 1/4"	1	4,91	4,91
7	AC/INOX/RED. 1"	0,04	18,16	0,73
8	Bushing/Inox/Rsc 3/8x1/4"	1	1,52	1,52
9	Fabricación de Sello de Pistón	1	41,62	41,62
10	Fabricación de Sello de Limpieza	1	26,08	26,08
11	Enchufe Blindado Polarizado E	1	1,87	1,87
12	Terminal de compresión corto	2	0,42	0,84
13	Unión larga p/cable #8 AWG L1	20	0,107	2,14
14	Terminal aislado clavija hembra	6	0,045	0,27
15	Switch redondo mediano 2 polo	1	0,46	0,46
16	Terminal aislado clavija hembra	1	0,21	0,21
17	Contacto EBC 18A/110v 008	1	9,1	9,10
18	Controlador de Temperatura	1	1	113,00
SUBTOTAL				241,11
IVA 12%				28,93
<b>TOTAL</b>				<b>270,05</b>

Tabla 44

## Accesorios Micro Extrusora II

ACCESORIOS EXTRAS MICRO-EXTRUSORA				
No.	Descripción	Cantidad	Precio U.	Valor Total
1	Vasos Recolectores	1	0,17	0,17
2	Reposero Cilíndrico Hermético	2	2,69	5,38
3	Adhesivo Anaeróbico para Conexiones	1	10,12	10,12
4	Plug de acople rápido 1/4"	10	2,21	22,1
5	Neplo/Inox/Exag 1/4"	2	3,49	6,98
6	Tee/Inox/Rsc 1/4"	1	1,5	1,5
7	Whisky Ballantines	1	24,29	24,29
8	Cánula Recolección de Gas	13	0,75	9,75
9	Val 2-2 SS 1/4" 1000 WOG 1PC FR	1	14	14
10	Neplo Largo 1/4 MPT x 3.5	1	3,58	3,58
11	Unión 1/4 FPT	1	2,46	2,46
12	Terminal 1/4" ID x 1/4 MPT	1	1,34	1,34
13	Cuerpo IND 1/4" MNPT	1	7,05	7,05
14	Plug IND size 1/4" ID	1	2,57	2,57
15	Fundas para basura	1	1,57	1,57
16	Recolector de orina	4	0,85	3,4
17	neplo 1/4" x 6	1	4,5	4,5
18	unión /inox/rosca 1/4"	1	3	3
19	val/esf/inx 326 1/4' 1000LB-I	1	10,99	10,99
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>134,75</b>
			<b>IVA 12%</b>	<b>16,17</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>150,92</b>

Tabla 45

## Insumos para la Construcción del cuerpo de Micro Extrusora

CUERPO DE LA MICRO EXTRUSORA					
No.	Descripción	Cantidad	Dimensión	Precio Unitario	Valor Total
1	Tubería Acero ASTM A106 Gr. A	0,55	60x75x800mm	260,2	143,11
2	Acero Inoxidable 304 RED	2	4"	19,19	38,38
3	Tuerca UNF	8	5/8"x2	0,6	4,80
4	Tornillo UNF	8	5/8"	0,52	4,16
5	Rodela Plana	8	5/8"	0,65	5,20
6	Tuerca Arm	6	3/8x2"	0,72	4,32
7	Tornillo Arm	6	3/8"	0,6	3,60
8	Rodela de Presión	6	3/8"	0,75	4,50
9	Perno Allen	3	6 mm	0,9	2,70
10	Empaque Sanit Venoso Silicona	2	2"	1,3	2,60
11	Tapón Sanit Clamp	1	2"	9,75	9,75
12	Abrazadera	1	2"	8,93	8,93
13	Acero Inoxidable RED	1	2 1/2"	5,32	5,32
14	Tubo Inoxidable SCH 40/304	1	2"	3,61	3,61
15	Tubo Cuadrado	1	6m	34,11	34,11
16	Porto Marca Trupper	1	10 ton	245	245,00
17	Manómetro de Presión	1	40 bar	50	50,00
18	Manómetro de Presión	1	700 bar	70	70,00
				<b>SUBTOTAL</b>	640,09
				<b>IVA 12%</b>	76,81
				<b>TOTAL</b>	716,90

Tabla 46

## Insumos para la Construcción de Micro Extrusora.

INSUMOS PARA LA CONSTRUCCIÓN				
No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Electrodo West Arco 312 1/8"	0,25	16,55	4,14
2	Electrodo West Arco 312 3/32"	0,25	16,14	4,04
3	Tobera Portacorriente 0.8 Mig 181	4	0,97	3,88
4	Cerámica Normal N6	4	1,46	5,84
5	Oxicorte Bidas	2	6,16	12,32
6	Teflón en Barra	1	6,87	6,87
7	Pintura color verde	1	4	4,00
8	Elemento Cromado	1	54	54,00
9	Resistencias	1	49	49,00
10	Termocupla	1	35	35,00
SUBTOTAL				179,08
IVA 12%				21,49
<b>TOTAL</b>				<b>200,57</b>

Tabla 47

## Aporte de Estudiantes

APORTE DE ESTUDIANTES						
Cantidad	Posición	Nombre	Horas Semana	Semanas	Valor hora USD	Valor Total USD
1	Estudiante	Andrés Villacrés	12	24	3	864
1	Estudiante	Pablo Salazar	12	24	3	864
<b>Total</b>					<b>1728</b>	

Tabla 48

## Otros Costos Directos

OTROS COSTOS DIRECTOS						
Cantidad	Posición	Nombre	Horas/Semana	Semanas	Valor hora USD	Valor Total USD
1	Estudiante	Andrés Villacrés	12	24	3	864
1	Estudiante	Pablo Salazar	12	24	3	864
					<b>Total</b>	<b>1728</b>

## 8.1.3. TOTAL DE COSTOS

Tabla 49

## Otros Costos Directos

COSTOS TOTALES	
Total Costos Indirectos	2360
Total Costos Directos	4794,44
<b>Subtotal (USD)</b>	<b>7154,44</b>
Imprevistos 10%	715,44
<b>TOTAL GENERAL (USD)</b>	<b>7869,89</b>

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 CONCLUSIONES

- Una vez diseñada y construida la micro extrusora experimental, a través de los resultados de las pruebas realizadas a los multi combustibles de este modelo se obtienen tres tipos de combustibles a partir de una biomasa vegetal residual, las características se las detalla a continuación:
  - Combustible líquido en una cantidad de 0,352 Kg con un Poder Calórico Superior de 28298,15 J/gr.
  - Combustible sólido en una cantidad de 0,175 Kg con un Poder Calórico Superior de 21939,01 J/gr.
  - Combustible gaseoso en una cantidad de 0,073 Kg con un Poder Calórico Superior de 21495 Btu/lb.
- La masa de gas obtenido es 0,073 Kg, sin embargo en la tabla 43 del presente documento podemos observar que el único gas combustible operativo en el mercado es el CH<sub>4</sub> en un porcentaje de 27,45%.
- La biomasa utilizada es el fruto de la palma africana, la cual fue seleccionada en base al análisis de varios factores entre los cuales están su composición nutricional, pero cabe señalar que por su diseño, puede funcionar con cualquier tipo de biomasa vegetal, con su respectiva reducción de tamaño, para poder introducir en la máquina y logrando así la obtención de multi combustibles (sólido, líquido y sólido).
- A través del análisis dimensional y de las condiciones que se necesitaban para que la biomasa se convierta en multi combustible mediante el proceso de pirolisis, se establecieron las resistencias

mecánicas que debían soportar los materiales, por lo cual se garantiza el correcto funcionamiento de la máquina.

- En la maquina se produce la pirolisis debido a que el proceso alcanza una presión promedio interna de 25 bar con el porto que alcanza los 7000 PSI de presión y una temperatura de 280 °C, con la ayuda de una resistencia eléctrica de 600 KW. Para soportar estas condiciones críticas el material seleccionado para el cilindro principal es el ASTM A106, que es capaz de resistir los 450 °C a los cuales llega la pared cilíndrica que está en contacto directo con la resistencia de calentamiento.
- La Micro-extrusora por el aumento de temperatura retira la humedad presente en la biomasa transformándola en vapor de agua el cual actúa como agente elevador de presión, que en conjunto con el sistema cilindro pistón conforman el sistema de compactación.
- Las pruebas realizadas a los productos obtenidos nos indican que son combustibles que se pueden utilizar en otros procesos de forma que de un residuo vegetal se obtienen otras formas de energía.
- Realizar el diseño de esta micro-extrusora resulto un gran reto, puesto que, los conocimientos sobre la biomasa, como fuente energética, en nuestro país es muy deficiente y en la Carrera de Ingeniería Mecánica solo se recibe un semestre de la Materia de Energías no convencionales.
- Al realizar el balance es fácil darse cuenta que no es un proyecto económicamente rentable, pero hay que señalar que para hacerlo se basó en precios de combustibles en el mercado internacional y también se considera que la máquina no está diseñada para producción en serie y en tal virtud las cantidades que produce no soy grandes por lo tanto no es rentable.

## 9.2 RECOMENDACIONES

- Para mejorar las características de los multi combustibles obtenidos de la micro-extrusora, se deberían buscar posibles cambios al diseño los cuales garanticen que al sistema no ingrese oxígeno lo cual mejoraría las condiciones a las cuales se da la pirolisis.
- Se debe realizar pruebas con otras biomásas, para analizar cuál sería otra opción como materia prima, en la cual se debe considerar su composición nutricional y sus posibles características al ser sometida a altas temperaturas, de modo que no se presente corrosión en los elementos de la máquina.
- Se debería buscar métodos más óptimos para la recolección de los multi combustibles de tal forma que estos no se mezclen con otros compuestos como el oxígeno y su calidad sea mayor.
- Al momento de realizar las pruebas en la máquina, se deben considerar el factor de seguridad de forma que se garantice la integridad del operador del equipo.
- En el Ecuador se debería implementar centros de investigación sobre las características energéticas de la biomasa y su forma de implementación, para de esta forma solventar los inconvenientes energéticos del país y a la vez contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental con la no producción de gases de efecto invernadero.



## Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <http://www.lowenergyhouse.com/biomass-burners.html>
- (s.f.). Obtenido de [www.loomisproducts.com](http://www.loomisproducts.com)
- (s.f.). Obtenido de [http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter\\_englisch/Kesselrohre\\_ASTM/ASTM\\_A106\\_Ts\\_engl.pdf](http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Kesselrohre_ASTM/ASTM_A106_Ts_engl.pdf)
- (s.f.). Obtenido de [www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp](http://www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp)
- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. (s.f.). Obtenido de <http://www.energy.ca.gov/biomass/anaerobic.html>
- CONSTRUMÁTICA. (s.f.). Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Efecto\\_Joule](http://www.construmatica.com/construpedia/Efecto_Joule)
- Departamento de Diseño Mecánico. (s.f.).
- Energía eléctrica y efecto Joule . (s.f.). Obtenido de [hiru.com](http://hiru.com)
- Equipament, Q. F. (s.f.). Obtenido de <https://www.qualityfoodequipment.com>
- ESPAÑA. (2012). *Superficie y Producción de caña de azúcar en el Ecuador* . Quito.
- Hearn, J. (1985). *Resistencia de Materiales*. Mexico: Interamericana.
- <http://www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp> (s.f.).
- <http://www.energia.gob.ec/cero-combustibles-foviles-en-galapagos-2/>. (s.f.).
- I. C. (s.f.). *GENERACIÓN DE POTENCIA, Combustión y Cámaras de Combustión*.
- Ibarrola, I. E. (s.f.). *Introducción a los fluidos NO Newtonianos*. Universidad Nacional de Córdoba, Mecánica de los Fluidos, Córdoba.
- INEC. (s.f.). *Intituto Nacional de Estadística y Censo* . Quito.
- INIAP, & ESPOCH. (2008). *Producción y aprovechamiento energético de biomasa-Compendio de información*; . Riobamba.
- INTERNACIONAL, A. (2010). ASME B31.3 – Process Piping. New York.
- LOOMIS . (s.f.). Obtenido de [www.loomisproducts.com](http://www.loomisproducts.com)
- LowEnergyHouse. (s.f.). Obtenido de <http://www.lowenergyhouse.com/biomass-burners.html>
- Martínez, M. C. (2002). *Los Biocombustibles* . Barcelona: Edición Mundi-Prensa.
- Mecánico, D. d. (s.f.). *Elementos de Máquinas*.
- Megyesy, E. (s.f.). PRESSURE VESSEL, Handbook .
- MER. (s.f.). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*.

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE. (2014).

Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/cero-combustibles-fosiles-en-galapagos-2/>

Quirino, D. W. (2010). *Modulo xvi, Instalaciones Energéticas de Biomasa- Maestría en Energías Renovables*,. Sangolqui.

Revilla, I. C. (s.f.). GENERACIÓN DE POTENCIA, Combustión y Cámaras de Combustión.

Salvi, G. (1975). *La Combustión, Teoría y aplicaciones*. Dossat, S.A.,. scamex. (s.f.). Obtenido de [www.scamex.fr](http://www.scamex.fr)

Scientific, N. B., Bioreactors, C. C., & Laboratory, I. B. (s.f.). Obtenido de [www.ibdla.ca](http://www.ibdla.ca)

Sistema de Información Nacional de Agricultura, G. A.-S.-2. (s.f.).

*Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca - SINAGAP - 2014 Disponible en:*

*<http://geoportal.magap.gob.ec/inventario.html>. (s.f.).*

STAHLKONTOR HAHN. (s.f.). Obtenido de <http://www.s-k->

[h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter\\_englisch/Kesselrohre\\_ASTM/ASTM\\_A106\\_Ts\\_engl.pdf](http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Kesselrohre_ASTM/ASTM_A106_Ts_engl.pdf)

Stewart, J. (s.f.). *el mundo de la alta presión*.

# ANEXOS