



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA
PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE
RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA), PARA ESTUDIO DE SU PODER
CALORÍFICO COMO POSIBLE SUSTITUTO DEL CARBÓN
VEGETAL**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR (ES): ANALUISA LÓPEZ DARWIN SANTIAGO

HERNÁNDEZ GAVILANES EDISON VINICIO

TUTOR: ING. OTTO BALSECA

Riobamba-Ecuador

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ANALUISA LÓPEZ DARWIN SANTIAGO

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA), PARA ESTUDIO DE SU PODER CALORÍFICO COMO POSIBLE SUSTITUTO DEL CARBÓN VEGETAL”

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

INGENIERO MECÁNICO

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro
DIRECTOR

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-18

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

HERNÁNDEZ GAVILANES EDISON VINICIO

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA), PARA ESTUDIO DE SU PODER CALORÍFICO COMO POSIBLE SUSTITUTO DEL CARBÓN VEGETAL”

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

INGENIERO MECÁNICO

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro
DIRECTOR

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANALUISA LÓPEZ DARWIN SANTIAGO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA), PARA ESTUDIO DE SU PODER CALORÍFICO COMO POSIBLE SUSTITUTO DEL CARBÓN VEGETAL”

Fecha de Examinación: 2018-02-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri N. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Otto Balseca S. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Santiago López O. MIEMBRO			

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

RECOMENDACIONES:

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

Ing. Edwin Viteri N.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HERNÁNDEZ GAVILANES EDISON VINICIO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA), PARA ESTUDIO DE SU PODER CALORÍFICO COMO POSIBLE SUSTITUTO DEL CARBÓN VEGETAL”

Fecha de Examinación: 2018-02-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri N. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Otto Balseca S. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Santiago López O. MIEMBRO			

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

RECOMENDACIONES:

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

Ing. Edwin Viteri N.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Analuisa López Darwin Santiago

Hernández Gavilanes Edison Vinicio

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Analuisa López Darwin Santiago y Hernández Gavilanes Edison Vinicio, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Analuisa López Darwin Santiago

Cédula de identidad: 180479021-8

Hernández Gavilanes Edison Vinicio

Cédula de identidad: 180475838-9

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Mesías y Cumandá por ser siempre el pilar fundamental de mi vida, a mi hermano y familiares que constantemente me han apoyado y motivado para llegar a alcanzar una de las metas planteadas y así yo compensar todos sus esfuerzos dándoles la satisfacción de verme crecer profesionalmente.

Darwin Santiago Analuisa López

Este trabajo va dedicado a mi familia, a mis padres Livino y Zoila a mis hermanos Rubén y Jonathan y a todas las personas que me han apoyado incondicionalmente motivado para llegar a alcanzar la mi gran sueño y retribuir todos esmeros brindados estos años.

Edison Vinicio Hernández Gavilanes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la sagrada imagen del Divino Niño Jesús que ha guiado mis pasos hacia el camino correcto, me ha bendecido con la existencia de mi familia y ha puesto en esta trayectoria a personas incondicionales que han sido un gran apoyo en situaciones determinantes de mi vida estudiantil. El más profundo agradecimiento a los docentes y al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Mecánica por los conocimientos y experiencias difundidos. A todas las personas que estuvieron a mi lado durante este trayecto y que compartieron tanto bueno como malos momentos, a todos ellos mi más sincera gratitud.

Darwin Santiago Analuisa López

Agradezco a Dios, a mis padres Livino y Zoila por el cariño, la educación y el apoyo incondicional en el transcurso de este gran objetivo cumplido, a mis hermanos Rubén, Jonathan y a mi enamorada Jessenia que siempre me han apoyado y motivado para seguir adelante; a los Ingenieros Otto Balseca, Santiago López, John Vera y todos los docentes por compartir sus conocimientos durante mi etapa estudiantil y por la orientación y la oportunidad de desarrollar la investigación, a todas mis amigas y amigos que han estado pendientes de la realización de este trabajo a todas aquellas mi más sincera gratitud y respeto.

Edison Vinicio Hernández Gavilanes

CONTENIDO

RESUMEN SUMMARY

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.3.1 <i>Justificación teórica</i>	4
1.3.2 <i>Justificación metodológica</i>	4
1.3.3 <i>Justificación práctica</i>	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE BORRA DE CAFÉ	
2.1 Briquetas y sus características.....	6
2.1.1 <i>Forma y tamaño</i>	7
2.1.2 <i>Resistencia mecánica o aplastamiento</i>	8
2.1.3 <i>Contenido de humedad</i>	8
2.1.4 <i>Poder calorífico</i>	8
2.1.5 <i>Durabilidad</i>	9
2.1.6 <i>Contenido de cenizas</i>	9
2.2 Procesos de fabricación y tecnología utilizada en briquetas.....	9
2.2.1 <i>Artesanales</i>	10
2.2.2 <i>Semi industriales</i>	11
2.2.3 <i>Industriales</i>	12
2.2.4 <i>Ventajas y desventajas de los procesos artesanales, semi industriales e industriales</i>	14
2.3 Proceso semi-industrial características, maquinaria y aglutinantes para fabricación de briquetas.....	15
2.3.1 <i>Tipos de aglutinantes en la fabricación de briquetas en el proceso semi industrial...</i>	16
2.3.1.1 <i>Almidones</i>	18
2.4 Briquetas de borra de café determinación del prensado y secado.....	18
2.4.1 <i>Borra de café y sus características</i>	18
2.4.2 <i>Presión de compactación de las briquetas</i>	19
2.4.3 <i>Secado de las briquetas</i>	20
2.4.3.1 <i>Secado natural</i>	20

2.4.3.2	<i>Secado por resistencia (forzado)</i>	21
2.5	Metodología del diseño mecánico	21
2.5.1	<i>Ciclo básico del diseño</i>	21
2.5.2	<i>Metodología descriptiva y prescriptiva en el diseño mecánico</i>	24
3.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PRESCRIPTIVA PARA EL DISEÑO DEL MODELO DE MÁQUINA BRIQUETADORA.	
3.1	Determinación de la máquina briquetadora mediante la metodología prescriptiva.	27
3.1.1	<i>Modelo de fase</i>	27
3.1.1.1	<i>Solución del diagrama funcional</i>	28
3.1.2	<i>Modelo de artefacto</i>	29
3.1.2.1	<i>La voz del cliente (requerimientos)</i>	29
3.1.2.2	<i>Voz del ingeniero (requerimientos técnicos)</i>	30
3.2	Especificaciones de los posibles modelos de máquinas	32
3.3	Evaluación de soluciones.....	34
3.3.1	<i>Evaluación de criterios</i>	34
4.	DETERMINACION DE LA FUERZA DE COMPACTACIÓN, SELECCIÓN CONSTRUCCIÓN, Y COSTOS DE LA MÁQUINA BRIQUETADORA DE BORRA DE CAFÉ.	
4.1	Determinación de la presión de compactación requerida para la borra de café.....	38
4.2	Cálculo de la fuerza útil en el vástago del cilindro de compactación.....	40
4.2.1	<i>Cálculo del peso de la placa</i>	41
4.2.2	<i>Cálculo del peso de los pines de compactación.</i>	44
4.2.3	<i>Cálculo de la fuerza de requerida para compactar la briqueta.</i>	44
4.3	Selección de los componentes neumáticos.	45
4.3.1	<i>Selección del cilindro de compactación.</i>	45
4.3.2	<i>Cálculo del consumo de aire.</i>	47
4.3.3	<i>Electroválvulas.</i>	48
4.3.4	<i>Tuberías neumáticas.</i>	49
4.3.5	<i>Unidad de mantenimiento neumático (FRL)</i>	50
4.3.6	<i>Sensor magnético</i>	50
4.4	Resultados del MEF de la estructura de la máquina briquetadora.....	51
4.4.1	<i>Soporte de las placas y actuadores neumáticos (estructura)</i>	51
4.4.1.1	<i>Características geométricas de la estructura.</i>	52
4.4.1.2	<i>Resultados de MEF</i>	53
4.5	Proceso de construcción, funcionamiento y costos de la máquina briquetadora de residuos de café.	54
4.5.1	<i>Elementos de construcción.</i>	55

4.5.2	<i>Tiempos de construcción.</i>	56
4.5.3	<i>Estructura</i>	56
4.5.4	<i>Pines de compactación.</i>	57
4.5.5	<i>Placas de soporte.</i>	58
4.5.6	<i>Pintura.</i>	58
4.5.7	<i>Sistema de control y automatización.</i>	59
4.5.8	<i>Simulación y programación de la máquina briquetadora.</i>	60
4.5.8.1	<i>Programación de la máquina briquetadora.</i>	63
4.5.8.2	<i>Pruebas de funcionamiento</i>	65
4.6	<i>Costos directos, indirectos y total de la máquina briquetadora de café</i>	66
4.6.1	<i>Costos directos.</i>	66
4.6.1.1	<i>Costo de mano de obra, equipos y herramientas.</i>	67
4.6.1.2	<i>Costo por transporte.</i>	67
4.6.1.3	<i>Total, de costos directos.</i>	67
4.6.2	<i>Costos indirectos.</i>	68
4.6.3	<i>Costo total.</i>	68
5.	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA, FABRICACIÓN DE BRIQUETAS, Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.	
5.1	<i>Determinación de la materia prima en la ciudad de Riobamba.</i>	69
5.2	<i>Proceso de elaboración de las briquetas.</i>	70
5.2.1	<i>Proceso de mezclado.</i>	70
5.3	<i>Resultados de la briqueta de borra de café</i>	71
5.3.1	<i>Características físicas</i>	72
5.3.2	<i>Características energéticas</i>	75
5.3.3	<i>Características químicas</i>	77
5.4	<i>Comparación del poder calorífico de la briqueta de borra de café con otros biocombustibles solidos.</i>	78
5.5	<i>Ensayo de incineración de las briquetas y el carbón vegetal.</i>	79
5.5.1	<i>Ensayos de incineración de las briquetas de borra de café</i>	79
5.5.2	<i>Ensayos de incineración del carbón vegetal</i>	87
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	99
6.1	<i>Conclusiones.</i>	99
6.2	<i>Recomendaciones</i>	101

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2:	Materia prima para la fabricación de briquetas.....	7
Tabla 2-2:	Concepto de briquetas	8
Tabla 3-2:	Ventajas y desventajas de los procesos de obtención de briquetas	15
Tabla 4-2:	Características de máquinas briquetadoras.....	16
Tabla 5-2:	Tipos de aglutinantes	17
Tabla 6-2:	Características de la borra de café	19
Tabla 7-2:	Metodología del diseño de la máquina briquetadora	26
Tabla 1-3:	Matriz morfológica.....	32
Tabla 2-3:	Evaluación de criterios	34
Tabla 3-3:	Evaluación de soluciones para las dimensiones de la máquina.....	35
Tabla 4-3:	Evaluación de soluciones para el nivel de seguridad.....	35
Tabla 5-3:	Evaluación de soluciones para la ergonomía y control.....	35
Tabla 6-3:	Evaluación de soluciones para el nivel de automatización.....	35
Tabla 7-3:	Evaluación de soluciones para el volumen de producción	36
Tabla 8-3:	Evaluación de soluciones para la presión de operación.....	36
Tabla 9-3:	Evaluación de soluciones para el nivel de ruido.....	36
Tabla 10-3:	Evaluación de soluciones para el intercambio de elementos	36
Tabla 11-3:	Tabla de conclusiones.....	37
Tabla 1-4:	Ensayos de compactación a diferente composición y presión.....	39
Tabla 2-4:	Resultados de la compactación a diferente composición y presión.....	39
Tabla 3-4:	Composición de la mezcla.....	40
Tabla 4-4:	Presión de compactación para briquetas de borra de café	40
Tabla 5-4:	Especificaciones de la electroválvula 5/2	48
Tabla 6-4:	Especificaciones de los conectores neumáticos.....	49
Tabla 7-4:	Especificaciones de los conectores rápidos	49
Tabla 8-4:	Especificaciones de la unidad de mantenimiento neumático (FRL).....	50
Tabla 9-4:	Especificaciones del sensor magnético CHELIC CS-80B	51
Tabla 10-4:	Elementos de construcción	55
Tabla 11-4:	Tiempos de construcción.....	56
Tabla 12-3:	Costos de materiales en la construcción y funcionamiento de la máquina.....	66
Tabla 13-4:	Costos de equipos y herramientas.....	67
Tabla 14-4:	Total de costos directos	68
Tabla 15-4:	Total costos indirectos	68
Tabla 16-4:	Costo total de la máquina	68

Tabla 1-5:	Resultados de la encuesta	69
Tabla 2-5:	Caracterización física-aspecto	72
Tabla 3-5:	Requisitos de resistencia al aplastamiento.....	73
Tabla 4-5:	Resistencia al aplastamiento de las briquetas	74
Tabla 5-5:	Resultado del poder calorífico de la briqueta de borra de café.....	75
Tabla 6-5:	Resultado del análisis bromatológico de una briqueta de borra de café con almidón de yuca.....	76
Tabla 7-5:	Resultado de combustibles y biocombustibles más utilizados	78
Tabla 8-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (0,5 lb).....	81
Tabla 9-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (1 lb).....	82
Tabla 10-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (1,5 lb).....	82
Tabla 11-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (0,5 lb)	83
Tabla 12-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (1 lb).....	84
Tabla 13-5:	Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (1,5 lb)	86
Tabla 14-5:	Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (0,5 lb)	88
Tabla 15-5:	Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (1 lb)	89
Tabla 16-5:	Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (1,5 lb)	90
Tabla 17-5:	Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (0,5 lb).....	90
Tabla 18-5:	Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (1 lb).....	92
Tabla 19-5:	Tiempo y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (1,5 lb)	93
Tabla 20-5:	Costo de productos y servicios para elaborar briquetas de residuos de café	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2:	Formas de briquetas	7
Figura 2-2:	Prensa simple para la fabricación de briquetas	10
Figura 3-2:	Prensa metálica simple para la fabricación de briquetas.....	10
Figura 4-2:	Micro prensa de briquetas de palanca compuesta	11
Figura 5-2:	Prensa de pistón mecánico o hidráulico	11
Figura 6-2:	Prensa de rodillos.....	12
Figura 7-2:	Máquina briquetadora semi-industrial con matriz de extrusión.....	12
Figura 8-2:	Prensa con rosca cónica	13
Figura 9-2:	Prensa con rosca cilíndrica y matriz calentada.....	13
Figura 10-2:	Prensa de rosca doble.....	13
Figura 11-2:	Cadena de producción de briquetas industriales	14
Figura 12-2:	Proceso de obtención de almidón de yuca	18
Figura 13-2:	Efecto de carga externa sobre partículas de carbonización	20
Figura 14-2:	Secado de briquetas al aire libre	20
Figura 15-2:	Secador directo.....	21
Figura 16-2:	Secador indirecto (mufla).....	21
Figura 17-2:	Ciclo básico del diseño mecánico	22
Figura 18-2:	Análisis funcional	25
Figura 19-2:	Matriz QFD.....	25
Figura 1-3:	Análisis funcional nivel 0.....	27
Figura 2-3:	Diagrama funcional nivel 1	28
Figura 3-3:	Lluvia de ideas de la voz del cliente	30
Figura 4-3:	Matriz QFD	31
Figura 5-3:	Máquina briquetadora por actuadores neumáticos	33
Figura 6-3:	Máquina briquetadora de rodillos	33
Figura 7-3:	Máquina briquetadora por extrusora de rosca.....	33
Figura 1-4:	Ensayo de compactación en la máquina universal	38
Figura 2-4:	Diagrama del cuerpo libre del sistema de compactación	41
Figura 3-4:	Placa superior.....	42
Figura 4-4:	Pin de compactación	44
Figura 5-4:	Monograma de selección de actuadores neumáticos	46
Figura 6-4:	Selección del actuador neumático con la fuerza requerida y la presión de aire. 47	
Figura 7-4:	Modelo y características de actuadores neumáticos.....	47
Figura 8-4:	Monograma de consumo de aire en los actuadores neumáticos.....	48

Figura 9-4:	Electroválvula 5/2	48
Figura 10-4:	Tubería neumática.....	49
Figura 11-4:	Conectores rápidos	49
Figura 12-4:	Unidad de mantenimiento neumático (FRL).....	50
Figura 13-4:	Sensor magnético CHELIC	50
Figura 14-4:	Soporte estructural	52
Figura 15-4:	Características de la estructura.....	52
Figura 16-4:	Mallado del soporte.....	53
Figura 17-4:	Cargas y apoyos	53
Figura 18-4:	Deformación total del soporte	54
Figura 19-4:	Factor de seguridad	54
Figura 20-4:	Estructura	57
Figura 21-4:	Pin de compactación	57
Figura 22-4:	Placas de soporte	58
Figura 23-4:	Estructura pintada	58
Figura 24-4:	Método GRAFCET.....	59
Figura 25-4:	Diagrama de elementos neumáticos.....	60
Figura 26-4:	Diagrama de fases	60
Figura 27-4:	Diagrama de fases y señales.....	61
Figura 28-4:	Diagrama de señales de mando (Actuador A).....	61
Figura 29-4:	Diagrama de señales de mando (Actuador B).....	62
Figura 30-4:	Esquema electroneumático	62
Figura 31-4:	Placa Arduino.....	63
Figura 32-4:	Relés.....	63
Figura 33-4:	Circuito eléctrico máquina briquetadora.....	64
Figura 34-4:	Diagrama fase-tiempo	66
Figura 1-5:	Mezcla de borra de café con aglutinante y agua	70
Figura 2-5:	Formación de una bola.....	71
Figura 3-5:	Verificación de la consistencia	71
Figura 4-5:	Briquetas obtenidas en la maquina briquetadora	71
Figura 5-5:	Dimensiones de la briqueta de borra de café	72
Figura 6-5:	Máquina universal para ensayos	73
Figura 7-5:	Ubicación de la briqueta en la máquina universal	73
Figura 8-5:	Aplicación de carga a la briqueta	74
Figura 9-5:	Briqueta de borra de café después del ensayo.....	74
Figura 10-5:	Caracterización de la biomasa.....	78
Figura 11-5:	Muestra de briquetas de borra de café	79

Figura 12-5:	Colocación de las briquetas en el asadero.....	80
Figura 13-5:	Encendido de las briquetas.....	80
Figura 14-5:	Formación de carbón de las briquetas.....	80
Figura 15-5:	Residuos después de la incineración de las briquetas.....	81
Figura 16-5:	Muestra de carbón vegetal.....	87
Figura 17-5:	Encendido del carbón vegetal.....	88
Figura 18-5:	Residuos después de la incineración del carbón vegetal.....	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-5:	Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (0,5 lb).....	81
Gráfico 2-5:	Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (1 lb).....	82
Gráfico 3-5:	Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (1,5 lb).....	83
Gráfico 4-5:	Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (0,5 lb).....	84
Gráfico 5-5:	Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (1 lb).....	85
Gráfico 6-6:	Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (1,5 lb).....	87
Gráfico 7-5:	Curva vs Temperatura del carbón encendido tipo llama (0,5 lb).....	89
Gráfico 8-5:	Curva Tiempo vs Temperatura del carbón encendido tipo llama (1 lb).....	89
Gráfico 9-5:	Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo llama (1,5 lb).....	90
Gráfico 10-5:	Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (0,5 lb).....	91
Gráfico 11-5:	Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (1 lb).....	93
Gráfico 12-5:	Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (1,5 lb).....	94
Gráfico 13-5:	Temperaturas y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo llama.....	95
Gráfico 14-5:	Temperaturas y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo brasa.....	95
Gráfico 15-5:	Tiempos y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo llama.....	96
Gráfico 16-5:	Tiempos y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo brasa.....	96
Gráfico 17-5:	Posibles aplicaciones de las briquetas de borra de café según su temperatura de funcionamiento.....	97

SIMBOLOGÍA

MJ	Mega Joule
kg	Kilogramo masa
cm ²	Centímetros cuadrados
MPa	Mega Pascales
°C	Grados Celsius
ton	Toneladas métricas
h	Horas
mm	Milímetros
cm	Centímetro
kW	Kilowatt
AC	Corriente alterna
m ³	Metro cúbico
mm ²	Milímetro cuadrado
Kgf	Kilogramos fuerza
N	Newton
L	Longitud
A	Ancho
e	Espesor
V _s	Volumen del sólido
V _c	Volumen del cilindro
D	Diámetro de agujeros
$\sum F_y$	Sumatoria de fuerzas en el eje Y
F1	Fuerza del pistón
F2	Fuerza de la placa
F3	Fuerza de pin de compactación
FC	Fuerza de resistencia de café
Bar	Unidad de presión
V	Voltios
VA	Voltio amperio
NI	Normal litro
KPa	Kilo Pascales
S1	Detecta sensor lógico 1
S2	Detecta sensor lógico 2
S3	Detecta sensor lógico 3
S4	Detecta sensor lógico 4

S5	Detecta sensor lógico 5
Ppi	Pulso de posición inicial
Pi1	Pulso de inicio
Pi2	Pulso de inicio
Kcal	Kilo calorías
g	Gramo
Rm	Carga de aplastamiento

LISTA DE ABREVIACIONES

CESSTA	Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental.
DECAP	Departamento de Ciencia de los Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional.
DPEC	Departamento de Petroleos, Energía y Contaminación
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, Food and Agriculture Organization).
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
NTC-2060	Norma Técnica Colombiana.
ANSYS	Swanson Analysis Systems, Inc
ASTM	American Society for Testing Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
INER	Instituto Nacional de Energías Renovables

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. MODELO DE ENCUESTA
- ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA
- ANEXO 3. RESULTADO DEL PODER CALORÍFICO EXPERIMENTAL
- ANEXO 4. RESULTADO DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO
- ANEXO 5. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE CONEXIÓN
- ANEXO 6. MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA BRIQUETADORA
- ANEXO 7. MANUAL DE USUARIO PRENSA BRIQUETADORA DE BORRA DE CAFÉ

RESUMEN

Se diseña y construye un modelo de máquina briquetadora para la elaboración de briquetas a partir de residuos de café (borra) con el objetivo de calcular el poder calorífico para posteriormente compararlo con el carbón vegetal como un posible sustituto del mismo. Para el estudio y previamente diseño de la máquina briquetadora se investigó los procesos de briquetado y máquinas briquetadoras existentes en el mercado, obteniendo como mejor alternativa al proceso semi industrial el mismo que se adapta a los requerimientos planteados. En el diseño de la máquina briquetadora se utilizó la metodología del diseño conceptual, el cual señala las rutas para el diseño de la máquina, a esta metodología también se le añadió métodos específicos como la casa de la calidad, análisis funcional y matriz morfológica, cálculo de la estructura de la máquina, selección de componentes neumáticos, etc. La máquina en su mayoría está construida en acero estructural que es un material que por sus propiedades cumple satisfactoriamente para la función que se destina a la máquina. Una vez obtenidas las briquetas de borra de café se realizó el ensayo de poder calorífico mediante la bomba calorimétrica y por el método de la ecuación de la energía de los alimentos para lo cual es necesario realizar un análisis bromatológico, las mismas que fueron realizadas por el Departamento de Petróleos Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador y el Laboratorio del CESTTA de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH respectivamente, además se obtuvo el porcentaje de humedad y cenizas volátiles con el fin de determinar si las mismas cumplen con los requisitos establecidos en la norma colombiana NTC 2060, ya que en nuestro país no existe una norma que esté relacionada a la elaboración de briquetas. Finalmente se realizó un estudio de la cantidad de materia prima de residuos de café en la ciudad de Riobamba y se obtuvo un poder calorífico bruto de 17,62 MJ/Kg siendo este el valor teórico, cuyo resultado manifiesta que si puede ser un posible sustituto del carbón vegetal ya que se utilizará en la generación de energía calorífica, se sugiere no utilizar aglutinante ya que disminuye el poder calorífico de la briqueta proponiendo aumentar la presión y temperatura en el proceso de compactación de las mismas.

PALABRAS CLAVE: <MÁQUINA BRIQUETADORA>, <PODER CALORÍFICO>, <RESIDUOS DE CAFÉ (BORRA)>, <BIOCOMBUSTIBLE>, <BRIQUETA>

SUMMARY

It is designed and built a model of briquetting machine for the elaboration of briquettes from coffee residue (lees) with the objective to calculate the caloric power for comparing with the heat power of vegetal charcoal like a possible substitute of the same. For the study and previous design of the briquetting machine were investigated the briquetting processes and the briquetting existent in the market, obtaining like a better alternative the semi-industrial process, the same that is adapted to the settled requirements, for its design the methodology of conceptual design, which points the routes for the machine design, to this methodology were added specific methods like: the house of quality, functional analysis and morphological matrix, calculation of machine structure, selection of pneumatic components, etc. The most of the machine is built in structural steel material that fulfils the function for the machine is created. Once obtained the lees of coffee briquettes was carried out the heat power test through the calorimetric bomb and by the energy equation method of food for which it is necessary to do a bromatological analysis the same that was done by the petroleum, Energy and Contamination Department of Universidad Central from Ecuador, and in the lab of CESTTA of Facultad de Ciencias from ESPOCH respectively, also humidity and volatile ashes percentages were obtained, all those tests were done to the briquettes in order to determine if the same fulfil with the established requirements in the Colombian standard NTC 2060, because in our country there is no a standard related to the briquettes elaboration. Finally, a study about the amount of raw material of coffee residue in the city of Riobamba was carried out. As a result, a gross heat value of 17.62 MJ/kg was obtained, being the theoretical value, confirming with this result that it can be a substitute for vegetal charcoal since it will be used in the generation of heat energy, it is suggested that for obtaining more efficient briquettes, the use of higher pressure and temperature in the compaction process of the same.

KEY WORDS: <BRIQUETTING MACHINE>, <HEAT POWER>, <RESIDUE OF COFFEE (LEES)>, <BIOFUEL>, <BRIQUETTES>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La fabricación de briquetas nace en el siglo XIX, en el año 1865 se utiliza la primera máquina briquetadora turba pistón para realizar briquetas a partir de turba (carbón a partir de la descomposición de restos vegetales) no obstante en este siglo no toma mucha relevancia, sin embargo emerge la necesidad de utilizar combustibles densificados en la depresión existente en la década de los 30 y en la primera guerra mundial se desarrolla una máquina de briquetas a partir de un pistón mecánico desarrollado por alemanes para la fabricación de briquetas a partir de desechos orgánicos.

En la segunda guerra mundial nace la máquina briquetadora de tornillos perfeccionada por los japoneses para la fabricación de briquetas de aserrín y otros desechos debido a la falta de combustible en la época. (FAO, 2012)

El uso de combustible briquetas orgánicas, principalmente en la industria, se revitalizó durante el período de altos precios de la energía en los años 70 y principios de los años 80, especialmente en Escandinavia, los EE.UU. y Canadá. (FAO, 2012)

Con todas sus características y propiedades, la briqueta producida a partir de biomasa vegetal es una fuente de energía que se puede obtener con baja tecnología y bajo nivel de inversión por lo general a nivel mundial se muestra datos de la producción y el comercio mundiales de briquetas de madera fueron de 19 millones de toneladas y 9 millones de toneladas, respectivamente en el año 2012, Europa y América del Norte mantienen casi toda la producción mundial (66 % y 31 % respectivamente), y el consumo (80 % y 17 % respectivamente). (FAO, 2012)

En América Latina, según estimaciones basadas en datos de la ONU, 23% de la población de esta región depende todavía del uso de la leña como fuente de energía, esto representa que anualmente se consumen 66 millones de toneladas de leña para cocción y calefacción, además no se encuentran datos específicos de consumo y producción de briquetas. (FAO, 2012)

Dentro del proceso de fabricación de las briquetas podemos tener procesos artesanales, semi-industriales e industriales los mismos que se caracterizan por la presión de compactación y/o la utilización de algún tipo de aglutinante mientras que la tecnología utilizada en la fabricación puede ser las prensas de pistón mecánico, la prensa de pistón hidráulico, prensa de rodillos, prensa extrusora con rosca, prensa con rosca cónica, prensa con rosca cilíndrica y matriz calentada y la prensa de rosca doble. (DE SOUSA et al., 2012)

En cuanto a la producción de pellets y briquetas en el Ecuador el estudio realizado por (PELÁEZ et al., 2015), los primeros análisis del briquetado se dieron a partir de mediados de la década de 1980 en la provincia del Guayas, con el fin de vender briquetas a los ingenios azucareros; sin embargo, el proyecto no prosperó dado el bajo precio de los combustibles y problemas con la higroscopicidad de las briquetas producidas. Nuevamente, la escasa atención dada a combustibles alternativos y los bajos precios de los combustibles desincentivaron la continuación de estos estudios.

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables actualmente trabaja en la obtención de un pellet que cumpla con los estándares de la normativa BSEN-14961. Algunos de los estándares que se busca cumplir mediante el pre tratamiento y posterior pelletizado son: poder calórico, contenido de humedad, durabilidad mecánica, diámetro, longitud, cenizas, nitrógeno, azufre y cloro. (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2016)

1.2 Formulación del problema

En vista del alto consumo de café en el Ecuador que es aproximadamente de 9000 t. según (ANECAFÉ), y en el proceso de fabricación de café soluble se genera una cantidad considerable de borra (0,480 t de borra por cada tonelada de café), que se considera como residuo sólido y se puede utilizar para generar energía calorífica a partir de ellas. (PROECUADOR, 2013), con la cantidad de borra 4 320 t, aproximadamente, y la existencia de cafeterías a nivel nacional este producto es desperdiciado y no se utiliza de forma adecuada, en ocasiones se emplea en la combinación con abono orgánico, composta y por lo general se desecha, por tal motivo se ve la necesidad de utilizar esta materia orgánica para obtener un biocombustible por ello es necesario realizar un diseño de una máquina briquetadora para obtener briquetas a partir de borra del café y el mismo sea aprovechado como fuente de energía calorífica.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica*

El presente trabajo brinda las características, procesos y tecnologías de fabricación de las briquetas, además ofrece una metodología del diseño de la máquina briquetadora y datos de consumo de café en la ciudad de Riobamba.

1.3.2 *Justificación metodológica*

El trabajo determina datos técnicos de las propiedades de las briquetas de borra de café como poder calorífico, contenido de humedad, contenido de cenizas volátiles y la friabilidad de las briquetas.

1.3.3 *Justificación práctica*

La fabricación de la máquina briquetadora es indispensable para el aprovechamiento del residuo de café el cual puede ser utilizado como una alternativa para generar energía, ya que estimula el buen uso de los recursos renovables a beneficios del medio ambiente, incluyendo también aspectos relacionados con la bioenergía y la producción de energía limpia.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

- Diseñar y construir un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar la máquina briquetadora haciendo uso del diseño conceptual, adaptivo y de variación.
- Construir la máquina briquetadora utilizando los procesos de manufactura.
- Determinar el poder calorífico que presenta una briqueta de borra de café y comparar con los demás combustibles sólidos como briquetas de aserrín, cascarilla de arroz y carbón vegetal.

- Realizar el análisis de costos de la construcción de la máquina briquetadora.
- Determinar la cantidad de materia prima (Borra de café) existente la ciudad de Riobamba.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE BORRA DE CAFÉ

El presente capítulo indica las características de la borra de café, el mismo que puede ser aprovechado como biocombustible sólido por medio de una briqueta, por lo cual es necesario conocer los diferentes procesos y la tecnología actual de elaboración de las mismas.

2.1 Briquetas y sus características

Según (MARCOS.F, 1989) las briquetas son “un combustible de origen lignocelulósico en la mayor parte de los casos, formado por la compactación de biomasa”, mientras que el autor (BERRUETA.V,2000) establece que son “biocombustibles densificados, elaborados principalmente a partir de aserrín y en la actualidad se está expandiendo el uso de residuos agroindustriales como materia prima.

Con esto se aumenta su poder calorífico, densidad energética y eficiencia de combustión”, en conclusión podemos definir de una manera más específica que es una briqueta; por lo tanto, las briquetas son biocombustibles sólidos densificados que se obtiene mediante la compactación de residuos agroindustriales y/o biomasa mediante un molde con o sin la ayuda de algún tipo de aglutinante, mejorando así su densidad y su poder calorífico, además la briquetas deben tener características que se relacionan con la efectividad del proceso de compactación, además deben soportar la carga de transporte, almacenamiento y quema, resistir las caídas y apilamiento.

Una buena briqueta debe ser resistente a la abrasión y debe presentar un elevado poder calorífico, de ignición y de quema. (SOUSA.J, y otros, 2012). Una de las singularidades de las briquetas es la materia prima para la fabricación de las mismas en la tabla 1-2, se puede observar la diferente materia prima que se puede utilizar en la manufactura de briquetas, este tipo de materia prima son desperdicios que usualmente se desecha, a continuación, se muestra varias fuentes de materia prima.

Dentro de las características de las briquetas que tienen más importancia hablaremos de la forma, tamaño, resistencia mecánica, contenido de humedad, poder calorífico, durabilidad y contenido de cenizas.

Tabla 1-2: Materia prima para la fabricación de briquetas

Fuente	Materia prima específica que puede ser utilizada
Residuos agrícolas del campo	Tallo de la yuca, cáscara de coco, tallo del algodón, maíz, paja, avena, hoja de palma de aceite, paja de arroz, paja de centeno, paja de sorgo, paja de soja, hojas de caña de azúcar, paja de trigo.
Residuos agrícolas de procesos industriales	Mazorcas de cacao, cortezas y cascara de coco, cáscara de café, cáscara de algodón, cascarilla de maní, mazorca y cascara de maíz, racimos vacíos de palma aceitera, poda/residuos de prensado del olivo, cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar.
Forestales	Hojas, ramas, etc.
Forestales y residuos de plantación	Hojas, ramas, muñoz, raíces, etc.
Residuos de la industria maderera	Aserrín
Plantaciones dedicadas a energía	<i>Acacia spp.</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i> , <i>Eucalyptus spp.</i> , <i>Pinus spp.</i> , <i>Populus spp.</i> (<i>poplars</i>) y <i>Salix spp.</i> (<i>willows</i>)

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, 2014)

2.1.1 Forma y tamaño

Las briquetas pueden ser preparados en diferentes formas ya sean rectangulares, ovoides, cilíndricas, tetraédricas entre otros esto depende el tipo de máquina que se va a utilizar, en cuanto a su tamaño las briquetas tienen un diámetro entre 50 y 100 mm y una longitud entre 50 y 400 mm. Sin embargo, estos valores pueden variar, de acuerdo con la demanda o a la norma utilizada ver figura 1-2. (DE SOUSA et al., 2012)

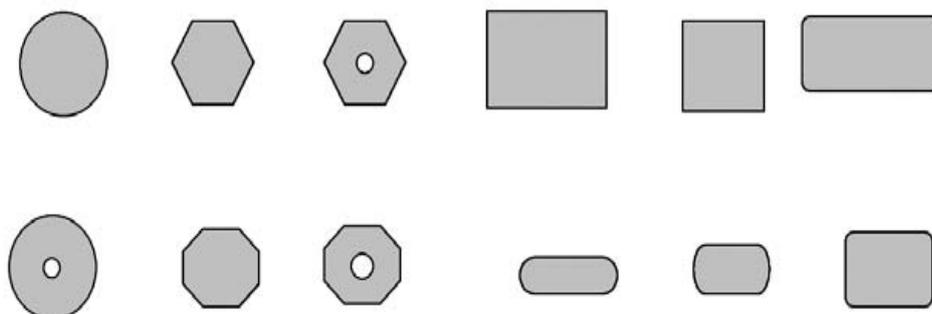


Figura 1-2: Formas de briquetas

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)

2.1.2 Resistencia mecánica o aplastamiento

Las briquetas por lo general son más propensas a sufrir quebradas debido a caídas y aplastamiento, sin embargo, se debe realizar un estudio para determinar la capacidad máxima de apilamiento además hay que tomar en cuenta las condiciones de operación temperatura, presión y el embalaje, para determinar la altura máxima de apilamiento. (DE SOUSA et al., 2012)

2.1.3 Contenido de humedad

Un parámetro muy importante que debe controlarse es el contenido de humedad de las briquetas como producto final, si el contenido de humedad es muy variable, puede dificultar el proceso de combustión, el contenido de humedad sugerido por investigaciones previas oscila entre 15-20%, sin embargo los valores de humedad superiores al 15% pueden reducir el valor del calor de combustión, la temperatura de la cámara de combustión, la temperatura de los gases de escape y la ruptura de la briqueta o la degradación biológica. (DE SOUSA et al., 2012)

2.1.4 Poder calorífico

En la tabla 2-2, podemos observar las definiciones por diferentes autores sobre el significado de poder calorífico, a partir de estos conceptos podemos definir de una manera más específica que es el poder calorífico, el mismo que nos ayuda a conocer que tan útil resulta ser estas sustancias al momento de generar energía y se define como la cantidad de energía en la forma de calor liberado por la combustión de una unidad de masa del material en análisis, expresado en joule por gramo o kilojulios por kilo, el poder calorífico se divide en superior e inferior.

Tabla 2-2: Concepto de briquetas

Autor	Concepto
Jean Pierre Wauquier	El poder calorífico en peso o volumen representa la cantidad de energía liberada por unidad de peso o volumen de carburante como consecuencia de la reacción química de combustión.
Francisco José Mola Morales	El poder calorífico o potencia calorífica de un gas o un combustible es la cantidad de calor producida en la combustión completa de dicho gas o combustible.
Atanasio Lleó	El poder de combustión se define como la cantidad de calor producida por unidad de masa del combustible que reacciona. Es útil en el estudio de carbones, gases, petróleo y sus derivados, así como en los variadísimos productos utilizados en la alimentación.

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Además, hay que tomar en cuenta que el poder calorífico para ser considerado como briqueta según la (NTC 2060, 1987), en su sección 4.1, sobre “Requisitos de las briquetas”, dice que el poder calorífico que debe tener una briqueta combustible es como mínimo 12,5 MJ/kg.

2.1.5 Durabilidad

La durabilidad es una propiedad que está ligada a la calidad física de biocombustibles sólidos, tales como briquetas que son susceptibles al cizallamiento que puede llevar a la formación de partículas finas durante el transporte, transbordo y almacenamiento.

Una serie de factores impactan significativamente la resistencia y la durabilidad de las briquetas, los principales parámetros considerados son:

- **Materia prima:** contenido de humedad, tamaño de partícula, pre condicionamiento, composición química, adición o presencia de aglutinantes.
- **Proceso:** dimensiones de la matriz y distancia entre la prensa y la matriz, temperatura, presión entre otras. (DE SOUSA et al., 2012)

2.1.6 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas es el porcentaje en masa de cenizas después de la cocción completa de la briqueta. La mayoría de los residuos de biomasa tienen bajo contenido de cenizas, excepto la cáscara de arroz que puede contener hasta un 25% de cenizas, debido al alto contenido de sílice de la materia prima.

Los altos niveles de cenizas pueden llevar también a la corrosión del quemador y a los desgastes de todos los equipos por abrasión, lo que se vuelve más crítico cuando el contenido de cenizas es superior al 4%. (DE SOUSA et al., 2012)

2.2 Procesos de fabricación y tecnología utilizada en briquetas

En el proceso de fabricación de las briquetas existen diferentes clasificaciones, pero para nuestro estudio se escogió la clasificación de acuerdo a su tipo de proceso y se pueden clasificar en tres grandes grupos: artesanales, semis industriales e industriales.

2.2.1 Artesanales

Este tipo de proceso no posee tecnología ya que utiliza medios primarios es decir que se obtienen fácilmente y es fácil su fabricación, dentro de este proceso existen algunos tipos de máquinas que pueden prensar la materia prima mezclada o no mezclada con algún tipo de aglutinante para luego ser secada y poder utilizar, existen 3 tipos de prensas artesanales. (P.D. GROVER et al., 1996)

- Prensa simple para la fabricación de briquetas.
- Prensa metálica simple para la fabricación de briquetas.
- Micro prensa de briquetas de palanca compuesta.

Si se utiliza la prensa simple para la fabricación de briquetas la presión oscila aproximadamente entre 50 y 100 kg por briqueta, es decir entre 5 y 15 kg/cm² (JANCZACK, J. 1981) si se utiliza la prensa metálica simple para la fabricación de briquetas se requiere una presión de 200 kg por briqueta, o sea de aproximadamente 3 kg/cm² (JANCZACK, J. 1981) y si se utiliza la micro prensa de briquetas de palanca compuesta la fuerza generada es 1 800 kg por briqueta, es decir aproximadamente 27 kg/cm². (MANUALES,bajatec.nec, 2012)

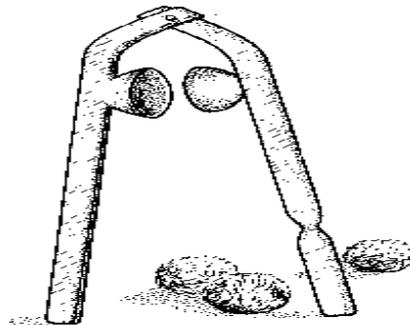


Figura 2-2: Prensa simple para la fabricación de briquetas

Fuente: (JANCZACK, J. 1981)

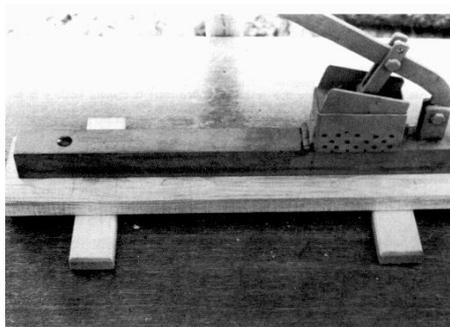


Figura 3-2: Prensa metálica simple para la fabricación de briquetas

Fuente: (JANCZACK, J. 1981)



Figura 4-2: Micro prensa de briquetas de palanca compuesta

Fuente: (MANUALES,bajatec.nec, 2012)

2.2.2 *Semi industriales*

En el proceso semi industrial, el proceso de fabricación se enfoca en las de compactación ya que son mayores que en el artesanal, y debido a esto en algunos casos la materia prima alcanza un grado de auto-aglomeración por tal motivo el rango de presión oscila 5 a 100 MPa (MANDRUGA, E. 1981), hay que tomar en cuenta que al aplicar este proceso se puede usar pequeñas proporciones de aglutinantes para realizar la mezcla.

En este proceso semi industrial se debe tomar en cuenta el factor determinante que es humedad de la materia prima, si la humedad es alta puede ocasionar que las briquetas se desquebrajen superficialmente, el rango de humedad depende principalmente del tipo de aglutínate que se va a utilizar esta propiedad no debe sobrepasar el 15%. (MANDRUGA, E. 1981). En este proceso existe tecnología de fabricación de media producción, tomando en cuenta lo mencionado las máquinas de media producción son prensas que actúan por presión, las mismas que son consideradas a las prensas de pistón mecánico, la prensa de pistón hidráulico y prensa de rodillos.

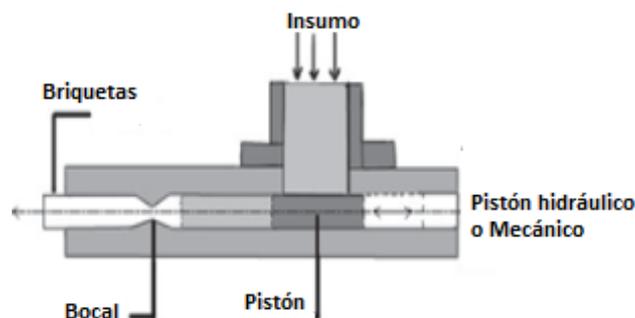


Figura 5-2: Prensa de pistón mecánico o hidráulico

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)

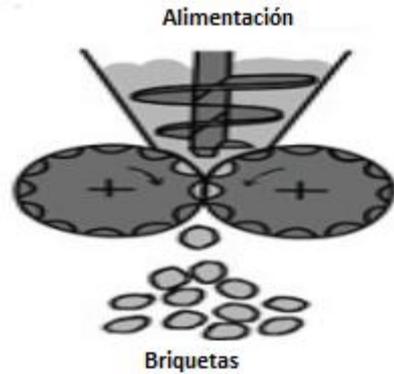
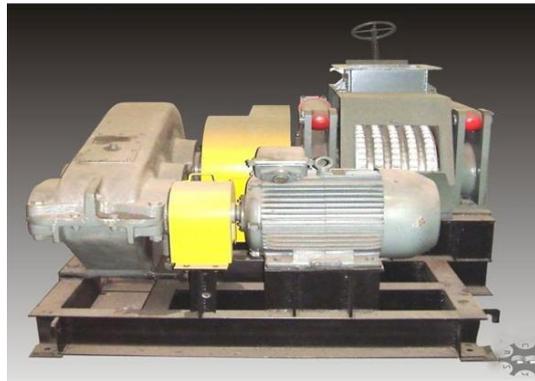


Figura 6-2: Prensa de rodillos

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)



Figura 7-2: Máquina briquetadora semi-industrial con matriz de extrusión

Fuente: (MANDRUGA, E. 1981).

2.2.3 Industriales

Para procesos industriales, se disponen de máquinas de altas presiones que superen los 100 MPa., y altas temperaturas en el proceso de compactación aproximadamente por el orden de 165°C (MANDRUGA, E. 1981), y grandes niveles de producción continua. No es necesario utilizar aglutinante debido a la alta presión y temperatura, sino es requisito fundamental obtener materia prima lo más seca posible, en este proceso de fabricación la humedad oscila entre el 7% al 12% conforme a la norma DIN 51731 establece.

En este proceso existe tecnología de fabricación, alta producción, tomando en cuenta lo mencionado las máquinas de alta producción se consideran la prensa extrusora con rosca, prensa con rosca cónica, prensa con rosca cilíndrica y matriz calentada y la prensa de rosca doble.

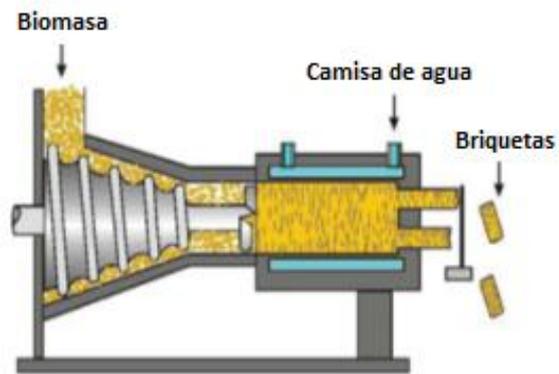


Figura 8-2: Prensa con rosca cónica

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)

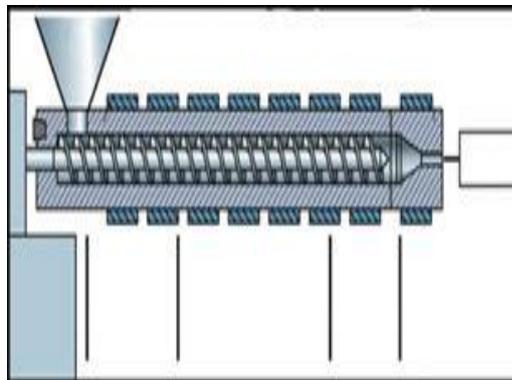


Figura 9-2: Prensa con rosca cilíndrica y matriz calentada

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)

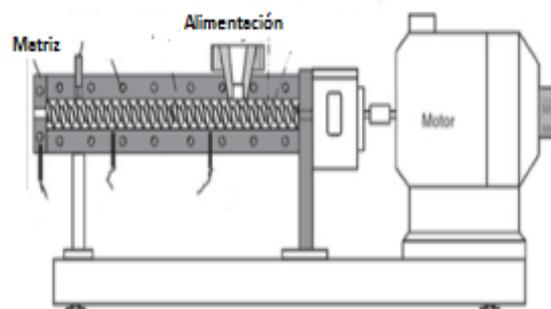


Figura 10-2: Prensa de rosca doble

Fuente: (DE SOUSA et al., 2012)

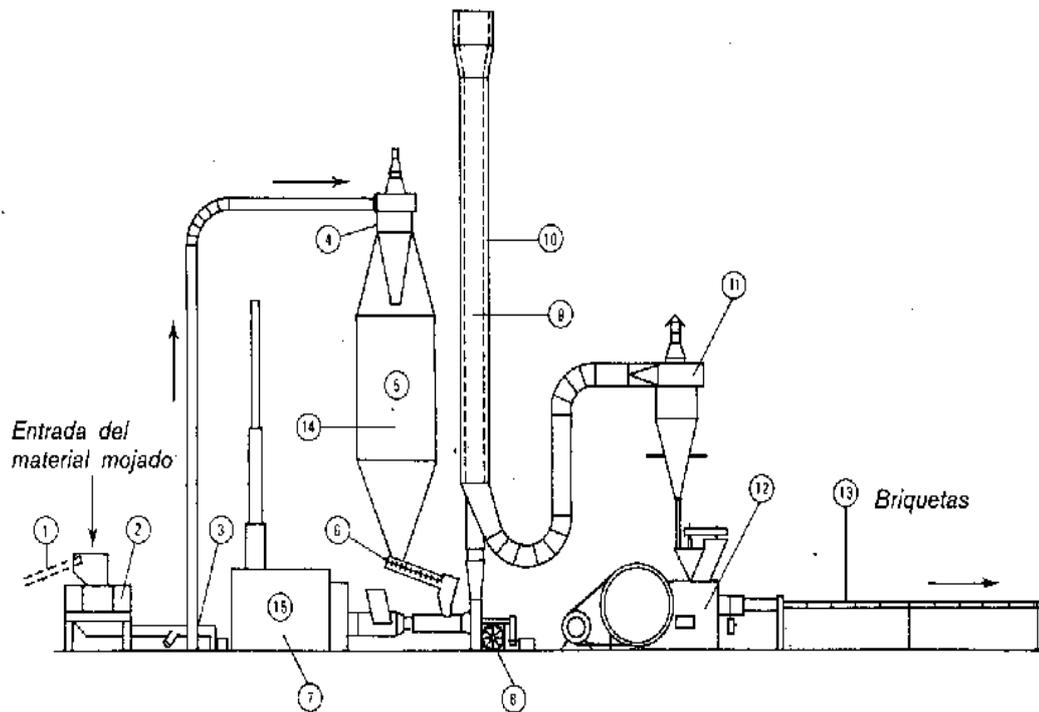


Figura 11-2: Cadena de producción de briquetas industriales

Fuente: (JANCZACK, J. 1981)

En la figura 11-2, podemos observar la cadena de producción de las briquetas industriales el cual entra la materia prima mojada a través de una cinta transportadora 1, luego pasa por un proceso de trituración 2, a continuación debe pasar la materia prima por un ventilador para poder llegar al extractor de polvo 4 y depositar el material húmedo en el depósito 5, donde el material triturado pasa por la descarga del depósito 6, para llegar al horno para calentar la materia prima 7, posteriormente la materia prima pasa por un ventilador 8, para poder llegar al secador de suspensión 9, una vez secado pasa por un sistema de aislamiento 10 hasta llegar al extractor de polvo 11 donde se extrae la totalidad de polvo que existe en la materia prima hasta llegar a la prensa para la fabricación de briquetas 12, una vez fabricada las briquetas pasa por la línea de enfriamiento 13. - 14. Material triturado húmedo. - 15. Aire caliente. (JANCZACK, J. 1981)

2.2.4 Ventajas y desventajas de los procesos artesanales, semi industriales e industriales

En la siguiente tabla 3-2, se presenta las ventajas y desventajas de los procesos de fabricación de briquetas, la cual ayudara a realizar la comparación entre los procesos con el fin de identificar el proceso que mejor se adapte a nuestro tema de estudio.

Tabla 3-2: Ventajas y desventajas de los procesos de obtención de briquetas

Proceso	Ventajas	Desventajas
Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricación de la máquina - Fácil compactación - Facilidad de colocación de la materia prima en el molde 	<ul style="list-style-type: none"> - La producción es variada no es continua - No cumple con la presión de compactación adecuada - No cumple con el tiempo de secado - No cumple con la proporción entre materia prima y aglutinante
Semi-industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor compactación que la artesanal - La materia prima alcanza un grado de auto aglomeración - Menos proporciones de aglutinantes para la mezcla - Fabricación de briquetas es continua 	<ul style="list-style-type: none"> - Control de humedad de la materia prima - Resquebrajamiento superficial de las briquetas
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso de compactación mayor a la semi-industrial - No necesita aglutinante - La materia prima debe estar lo más seca posible 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado costo de fabricación - Mantenimiento de los equipos de producción - Riesgo al utilizar altas presiones

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

2.3 Proceso semi-industrial características, maquinaria y aglutinantes para fabricación de briquetas

Una vez conocido los procesos y las tecnologías para la fabricación de las briquetas en el presente trabajo se optó por hacer uso del proceso semi industrial ya que al realizar el proceso de compactación se puede hacer uso o no de algún tipo de aglutinante, además las presiones de trabajo no son muy elevadas y de acuerdo con la tecnología de prensa de pistón hidráulico/neumático, al adoptar este tipo de prensa realiza un trabajo de compactación fría es decir que genera bajas presiones y no genera temperaturas altas, esta compactación es producida por un sistema hidráulico y/o neumático, brindando así la presión necesaria para la briqueta y puede ser controlada con un regulador de presión, debido a que las presiones son bajas se puede elaborar briquetas con contenido de humedad mayor al 10%.

Una de las principales características del proceso semi-industrial de obtención de briqueta son presiones de compactación que oscila 5 a 100 MPa (MANDRUGA, E. 1981), además en este tipo de procesos se puede usar pequeñas proporciones de aglutinantes para realizar la mezcla, a continuación, se determina las características de máquinas existentes en el mercado de este tipo de procesos.

Tabla 4-2: Características de máquinas briquetadoras

Tipo /modelo	Prensa hidráulica LTH-800	Prensa hidráulica Lthp- 30	Prensa extrusora LB-140	Prensa extrusora ZBJ
Capacidad [ton/h]	1-2	0,5	1-2	0,18-0,22
Diámetro de salida [mm]	15-60	15-60	50	15-60
Formas de briquetas	Cilíndrica, rectangular, hexagonal.	Tablet, cúbicos, cilíndrico	Cilíndrica, cuadrada, hexagonal.	Cilíndrica
Altura de la briqueta [cm]	5-15	30-60	30,50	20-70
Tipo de energía	Hidráulica	Motor AC	Motor AC	Motor AC
Potencia [Kw]	-	18,5	11	15

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

2.3.1 Tipos de aglutinantes en la fabricación de briquetas en el proceso semi industrial

Los aglutinantes son sustancias semilíquidas y pegajosas que tienen como fin de adherir partículas para formar un conjunto consistente y dar cohesión al conjunto por medio de procedimientos químicos, físicos y/o térmicos. (CALDERÓN & PARRA, 1997)

Los aglutinantes usados en las briquetas pueden clasificarse como emisores y no emisores de hollín. Para la elección de los aglutinantes deben elegirse objetivamente, ya que representan una porción significativa del costo de la briqueta, además de que el humo y el olor que algunos despiden durante su quemado es indeseable. (CALDERÓN & PARRA, 1997)

El aglutinante para la elaboración de briquetas debe cumplir los siguientes aspectos:

- De fácil preparación.
- De fácil aplicación en la materia prima.
- Debe ser de fácil obtención.
- De costo relativamente bajo.
- No ser contaminante durante su combustión (no debe ser nocivo).
- Poseer buenas propiedades de adhesión.

Los aglutinantes se elaboran a partir de resinas fenólicas, de los almidones provenientes de los vegetales, en algunos casos modificados y de las arcillas, en la tabla 5-2, se indica los aglutinantes usados en las briquetas.

Tabla 5-2: Tipos de aglutinantes

POLÍMEROS	DE ACUERDO A SU ORIGEN.	DE ACUERDO A SU COMBUSTIÓN.
Naturales Almidón de maíz; gelatina; goma acacia; goma de tragacanto; y ácido algínico, etc.	Orgánicos Alquitrán, estiércol animal, manteca, aguas servidas, residuales o barro, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas y almidones.	Combustibles Albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, etc.
Sintéticos El polivinilpirrolidona PVP, la metilcelulosa, Etilcelulosa, alcohol polivinílico, etc.	Inorgánicos Limo, arcilla, barro, cemento, cal, etc.	No combustibles Borrato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice, yeso. etc
Azúcares La glucosa (dextrosa), sucrosa y sorbitlo.		

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (OVIEDO, N. 2015)

Dentro de esta clasificación podemos obtener los aglutinantes que han sido probados y utilizados para la fabricación de briquetas encontramos los siguientes: (OVIEDO, N. 2015)

- Almidón (dextrina amarilla C₆ H₁₂ O₅, 5% de humedad, pH = 3, solubilidad del 95%, 1.88 de fluidez de bórax y 6 azúcares reductores)
- Almidón de maíz no refinado y granulado.
- Almidón de yuca.
- Almidón en forma de pasta (se agrega a un 15% en agua a 70°C)
- Fécula de mandioca
- Melaza de caña de azúcar
- Resina sintética
- Emulsión asfáltica
- Alquitrán vegetal
- Engrudo y cola

Muchos son los aglutinantes que se han ensayado, pero el almidón es el más común y efectivo, siendo adecuado en alrededor del 4-8%, para la obtención del almidón se realiza amasando una pasta con agua caliente, además, otro punto a su favor es que también necesita ser bastante resistente a la fermentación y el ataque bacteriano durante el almacenamiento y las fluctuaciones del mercado. (JANCZACK, J. 1981)

2.3.1.1 Almidones.

El almidón es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, constituido por la mezcla de amilosa y amilopectina. El almidón se puede obtener a partir de los cereales (arroz, trigo, etc.) y de tubérculos (papas, boniato, yuca, etc.), aparte que brinda una reserva de energía para las plantas el almidón proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. (ECUARED, 2015)

- Almidón de yuca

Como fuente de almidón la yuca es muy competitiva debido a que tiene mayor viscosidad que otros cultivos, el almidón se obtiene principalmente de la raíz y contiene más por peso en seco. (FAO, 2006), la utilización del almidón de yuca se usa como ingrediente de diferentes preparados y se estima aproximadamente el 25% para este fin y en la industria no alimentaria como materia prima básica o producto auxiliar para la elaboración de una amplia gama de productos y se estima aproximadamente el 75% para este fin. (SANCHEZ et al., 2007)



Figura 12-2: Proceso de obtención de almidón de yuca

Fuente: (FAO, 2014)

2.4 Briquetas de borra de café determinación del prensado y secado

2.4.1 Borra de café y sus características

La borra de café es considerada un desecho obtenido del procesamiento industrial, se puede convertir en materia prima para la recuperación de sustancias antioxidantes lo cual genera grandes expectativas sobre su posible uso, este es un residuo que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción insoluble de granos tostado, representa cerca del 10% del peso del fruto seco.

En la tabla 6-2, se muestra las características principales del residuo de café (borra), como su forma, su tamaño, su aspecto y su densidad, estas características nos ayudarán para la fabricación de la máquina para obtener briquetas más óptimas.

Tabla 6-2: Características de la borra de café

Parámetro	Residuos de café(Borra)
Forma	Son partículas finas y delgadas de forma variada e irregular siendo algunas circulares, rectangulares, dependiendo del molino utilizado.
Tamaño	Su tamaño es distinto, teniendo mayormente partículas menores a 2 mm.
Aspecto	La superficie es rugosa. Su color depende del tipo de café del cual procede, usualmente café claro o rojizo.
Densidad aparente	453,5 kg/m ³

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

2.4.2 Presión de compactación de las briquetas

Hay que tener muy presente que el briquetado representa la compresión conjunta de partículas en un volumen confinado, y la densificación de la biomasa mejora el valor calorífico volumétrico de un combustible, por tal motivo una de las tecnologías para la poder realizar la densificación es el proceso de briquetado, el cual permite la aglomeración de residuos y se realiza con el propósito de hacerlo más denso para su uso en la producción de energía, las tecnologías de briquetado se pueden dividir en: (P.D. GROVER et al., 1996)

- Compactación a alta presión
- Compactación a presión media con un dispositivo de calefacción
- Compactación a baja presión con un aglutinante.

En máquinas de alta presión >100 MPa., raramente se usa aglutinante externo, en medias presiones 5-100 MPa., depende del material y su compactación, en bajas presiones hasta 5 MPa., siempre es necesario añadir aglutinante. (MANDRUGA, E. 1981)

Al finalizar el proceso de briqueteado, debemos tomar en cuenta que al eliminar la presión la briketa comprimida se expande y puede ocurrir algún ligero desplazamiento del aglutinante, además de producirse un efecto de relajación.

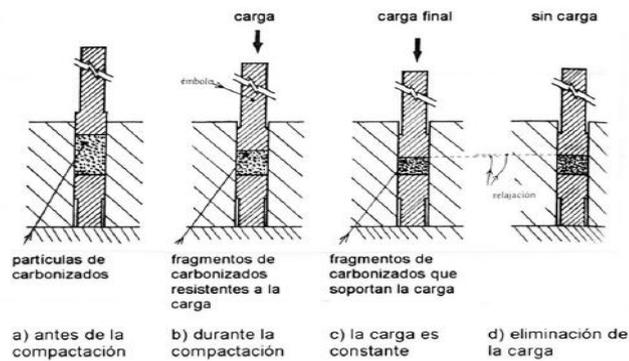


Figura 13-2: Efecto de carga externa sobre partículas de carbonización

Fuente: (Taylor, 1992)

2.4.3 Secado de las briquetas

Una vez que se han obtenido las briquetas las cuales están húmedas el siguiente paso para obtener una briqueta eficiente es el secado (curado), este proceso se puede realizarse de diferentes formas, dentro de las cuales se destacan el secado natural, secado por resistencia (forzado), para este proceso de secado se manejan tres variables: tiempo, temperatura y grado de humedad. (IBÁÑEZ M. et al., 2004)

2.4.3.1 Secado natural

El secado natural consiste en aprovechar al máximo las condiciones ambientales favorables este secado se realiza por acción del viento se realiza en terrazas o en el campo, es un método ampliamente utilizado, en este tipo de secado las briquetas bajarán su humedad hasta establecer una relación de equilibrio entre su humedad interna y la del ambiente que les rodea. (GLADSTONEA et al, 2014)



Figura 14-2: Secado de briquetas al aire libre

Fuente: (GLADSTONEA et al, 2014)

2.4.3.2 *Secado por resistencia (forzado).*

Con el secado natural no es posible alcanzar normalmente la humedad requerida, por lo cual se recurre al secado forzado el cual consiste en la aportación de un flujo térmico que ayuda a la deshidratación de la briqueta, para este tipo de secado se realiza por medio de secadores directos e indirectos.

- ♦ **Secadores directos.** - Se realiza por medio de la transferencia de calor, es decir, el calor está en contacto entre el material y el aire caliente.



Figura 15-2: Secador directo

Fuente: (IBÁNEZ M. et al., 2004)

- ♦ **Secadores indirectos.** - la transferencia de calor es realiza a través de una pared de retención.



Figura 16-2: Secador indirecto (mufla)

Fuente: (IBÁNEZ M. et al., 2004)

2.5 Metodología del diseño mecánico

2.5.1 *Ciclo básico del diseño*

A continuación, se muestra un mapa conceptual del ciclo básico del diseño, con las etapas fundamentales que debe seguirse para llegar a obtener un determinado producto con un diseño que satisfaga las necesidades del cliente.

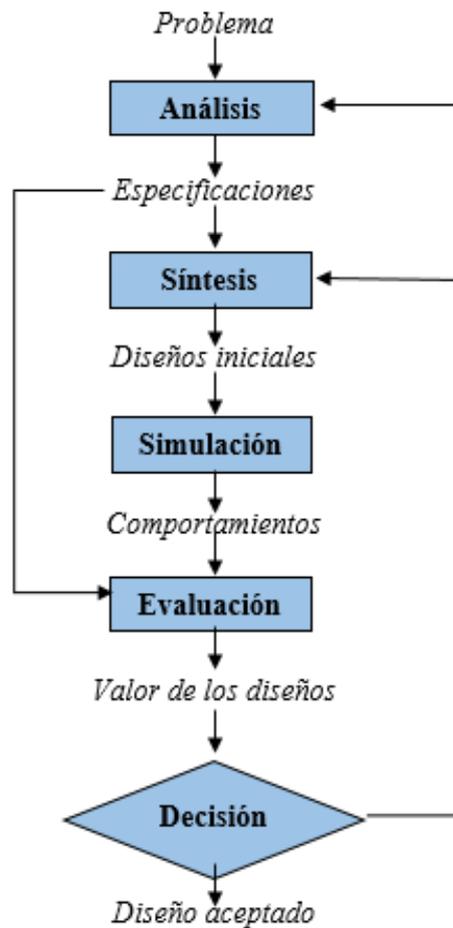


Figura 17-2: Ciclo básico del diseño mecánico

Fuente: (RIBBA, C. 2002)

El ciclo básico de diseño es una forma particular del método de resolución de problemas cuyas actividades se dirigen desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño). El ciclo básico de diseño utiliza una terminología propia con contenidos específicos en varios de sus pasos:

- **Análisis**

“El primer paso parte del enunciado del problema y, en base al análisis de las funciones técnicas, sociales, económicas, psicológicas o ambientales del producto o servicio, las fórmulas en especificaciones que deben guiar los pasos siguientes y constituirán los criterios para evaluar las soluciones futuras.

Las actividades que llevan a término de diseñador (o equipo de diseño) para formarse una idea del problema (el análisis) son esenciales en el proceso de diseño. Deben orientarse a determinar sus posibilidades y límites y a depurar las especificaciones para que, en lo posible, formen un sistema suficiente y no redundante”. (RIBBA, 2002)

- **Síntesis**

“El segundo paso consiste en la generación de una o más propuestas de solución (diseños iniciales, aun no simulados ni evaluados) a partir de la combinación de distintos elementos, ideas y filosofías de diseño (síntesis) para formar conjuntos que funcionen como un todo y que respondan adecuadamente a las especificaciones.

Aunque la síntesis (donde la creatividad humana es decisiva) abre las posibilidades de generación de alternativas y aumenta las perspectivas de solución, el ciclo básico de diseño constituye una unidad que tan solo ofrece todos sus frutos si las actividades creativas están bien articuladas y apoyadas en el resto de las actividades del ciclo (análisis, simulación, evaluación y decisión)” (RIBBA, 2002)

- **Simulación**

“El tercer paso consiste en obtener los comportamientos de los diseños iniciales. Dado que estos diseños iniciales suelen estar definidos por unos modelos (estructura funcional, principios de funcionamiento, planos de definición) no siempre adecuados para estudiar sus comportamientos, la simulación se convierte en una actividad compleja que comprende dos semipasos diferenciados y varios caminos posibles a recorrer.

El primer semipaso consiste en establecer modelos adecuados de los diseños iniciales (prototipos virtuales o físicos) representativos de uno o más de sus aspectos mientras que el segundo semipaso consiste en obtener el comportamiento de estos prototipos (simulación propiamente dicha) por medio de la deducción o del ensayo.

Algunos de los posibles caminos a recorrer son: a) la realización de prototipos virtuales (habitualmente con modelos informáticos) y la obtención de sus comportamientos (normalmente con herramientas informáticas de asistencia); b) la construcción de prototipos físicos (totales o parciales, detallados o simplificados) y la obtención de sus comportamientos mediante ensayos; c) para ciertos aspectos relacionados con los juicios de valor (por ejemplo, la estética u otras percepciones), la simulación de los diseños iniciales puede basarse en encuestas de opinión o en experiencias cualificadas.” (RIBBA, 2002)

- **Evaluación**

“Consiste en establecer la utilidad, la eficacia, la calidad y la aceptación de las soluciones candidatas (valor de los diseños) en base a contrastar los comportamientos de los prototipos de

los diseños iniciales obtenidos por simulación, ensayo u opinión, con las especificaciones establecidas anteriormente.

En el ciclo básico de diseño, más allá de contrastar el comportamiento real con el deseado, la evaluación debe ponderar el comportamiento global de distintos aspectos de los diseños candidatos a efectos de su comparación y posterior selección.” (RIBBA, 2002)

- **Decisión**

“Una vez evaluados los comportamientos de las soluciones candidatas (valor de los diseños) hay que determinar la alternativa a seguir (decisión):

- a) Elegir un diseño inicial (se convierte en diseño aceptado, origen de la etapa siguiente del proceso de diseño, o de la fabricación).
- b) establecer una nueva iteración en una de las etapas anteriores (normalmente el análisis del problema o la síntesis de soluciones) con la incorporación de determinadas propuestas de mejora.
- c) en casos extremos (resultados muy desfavorables y falta de nuevas perspectivas) abandonar el diseño” (RIBBA, 2002)

2.5.2 Metodología descriptiva y prescriptiva en el diseño mecánico

Para realizar un correcto diseño del modelo de máquina briquetadora, debemos tomar en cuenta las metodologías de diseño de máquinas establecidas por Cross, para ello establece dos metodologías; metodología descriptiva y metodología prescriptiva. (CROSS, Nigel, 1999)

- **Metodología descriptiva.** - Esta metodología corresponde a contestar la pregunta *¿Qué hacer?* y tienen un enfoque de inventar por partes, es decir un enfoque heurístico, siguiendo una secuencia típica de diseño y en buenas prácticas que conduce a la solución. (CROSS, Nigel, 1999)
- **Metodologías prescriptivas.** - Esta metodología realiza un enfoque que corresponde a contestar la pregunta *¿Cómo hacerlo?* para esta metodología se recomienda seguir una secuencia o procedimientos para llegar a la posible solución, sin embargo, esta solución se establece dos tipos de modelos el modelo de fases y el modelo de artefacto. (CROSS, Nigel, 1999)

- ♦ **Modelo de fases.** - Este modelo de fases nos permite estructurar un proceso de diseño o secuencias, para aplicar este modelo se hace referencia a la norma alemana VDI 2222 (1977).

Esta norma hace énfasis al diseño modular, la cual establece que en cada módulo pueden existir 3 tipos de entradas y salidas como son las de control, material, energía y en el centro del recuadro la función principal que debe cumplir la máquina a diseñar. (BLANCO et al., 2002)

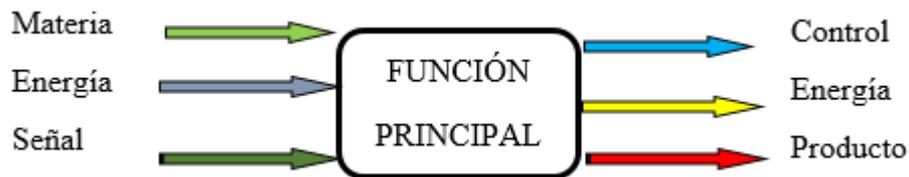


Figura 18-2: Análisis funcional

Fuente: Autores

- ♦ **Modelo de artefacto.** - Este modelo de artefacto se centra en la evolución de la información hasta obtener el diseño adecuado y/o final, en este modelo se encuentra el diseño concurrente que hace énfasis en la técnica QFD (DEPLOYMENT QUALITY FUCTION) / (DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD) (CROSS, Nigel, 1999)

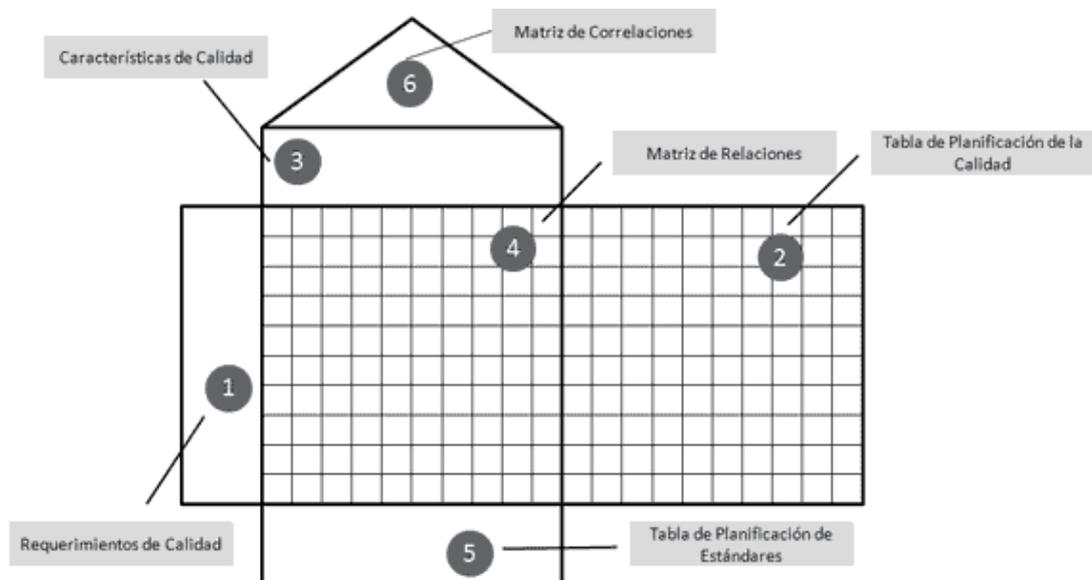


Figura 19-2: Matriz QFD

Fuente: (CROSS, Nigel, 1999)

A continuación, se presenta un conjunto de métodos, técnicas y pasos lógicos interconectados para llegar a la solución del problema.

La tabla 7-2, presenta las actividades que se realiza para diseñar una máquina briquetadora, así como el método o técnica a utilizar, son actividades ordenas desde que inicia el proceso de investigación hasta el proceso de diseño de cada uno de los elementos que presenta la máquina, llegando a ser una guía en el proceso del diseño.

Tabla 7-2: Metodología del diseño de la máquina briquetadora

Fase/etapas	Actividades	Métodos/técnicas
Estudios previos.	-Estudio bibliográfico. -Estudio y análisis de los procesos para fabricar briquetas. -Determinación de la fuerza -Estudio de mercado.	-Análisis documental. -Análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes procesos. -Ensayo de compactación en la máquina universal. -Marketing.
Diseño conceptual.	-Precisar el problema. -Parámetros de diseño. -Diagrama de proceso. -Principios de solución.	-Modelo de fases (análisis funcional nivel 0). -Matriz de calidad (QFD). -Modelo de fases (análisis funcional nivel 1 y 2). -Matriz Morfológica.
Diseño de detalle.	-Estructura. -Diseño del molde. -Selección de actuadores neumáticos. -Selección de sensores.	-Análisis de la estructura (selección de perfiles). -Análisis de resistencia de material del molde. -Catálogos de actuadores neumáticos. -Catálogos de sensores
Simulación y evaluación.	-Simulación de los elementos de la máquina. -Evaluación del diseño.	-Análisis de resistencia de los elementos de la máquina mediante software CAE (ANSYS). -Evaluación del diseño obtenido (análisis de costos)
Aceptación del diseño	-Realizar el bosquejo de la máquina con todos los parámetros elegidos y adecuados del diseño	-Utilización de software CAD (SolidWorks) -Dibujo de planos de Detalle según el código de dibujo INEN.

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PRESCRIPTIVA PARA EL DISEÑO DEL MODELO DE MÁQUINA BRIQUETADORA.

Para realizar un correcto diseño del modelo de máquina briquetadora, debemos tomar en cuenta las metodologías de diseño de máquinas establecidas por (CROSS, Nigel, 1999), para ello establece dos metodologías; metodología descriptiva y metodología prescriptiva.

3.1 Determinación de la máquina briquetadora mediante la metodología prescriptiva.

Para realizar la selección de la máquina briquetadora debemos tomar en cuenta los dos modelos de que describe la metodología prescriptiva, para poder aplicar estos dos métodos debemos conocer los requerimientos y especificaciones adecuados a los que establezca el usuario o posible cliente, dichos requerimientos y especificaciones nos ayudaran a asignar parámetros técnicos para el diseño de la máquina, los cuales deben ir acorde con el entorno, durabilidad y calidad, con el fin que la mejor sección de la máquina cumpla con el objetivo de realizar briquetas a partir de residuos de café.

3.1.1 Modelo de fase

El modelo de fases hace énfasis al análisis funcional, este diseño nos permite dividir el producto en varios módulos funcionales y nos ayuda que las determinadas partes o sistemas sean fabricados de tal forma que faciliten su utilización en sistemas, tomando en cuenta los parámetros para llegar a la posible solución, para la aplicación de este modelo se aplicará de la norma VDI 2222.

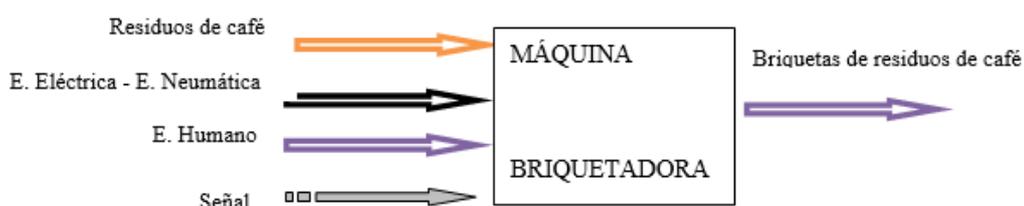


Figura 1-3: Análisis funcional nivel 0

Fuente: Autores

Como se indicó en la figura 1-3, el primer nivel del análisis funcional conlleva a compactar residuos de café como función principal, para lo cual las señales que ingresan son: Residuos de café, Energía Eléctrica-Energía Neumática, Energía Humana, Señal.

Para poder desarrollar el segundo nivel de la estructura funcional se debe tomar en cuenta todos los detalles, especificaciones y requerimientos para cumplir de la manera más exitosa la función principal, que llevara a cabo la máquina propuesta.

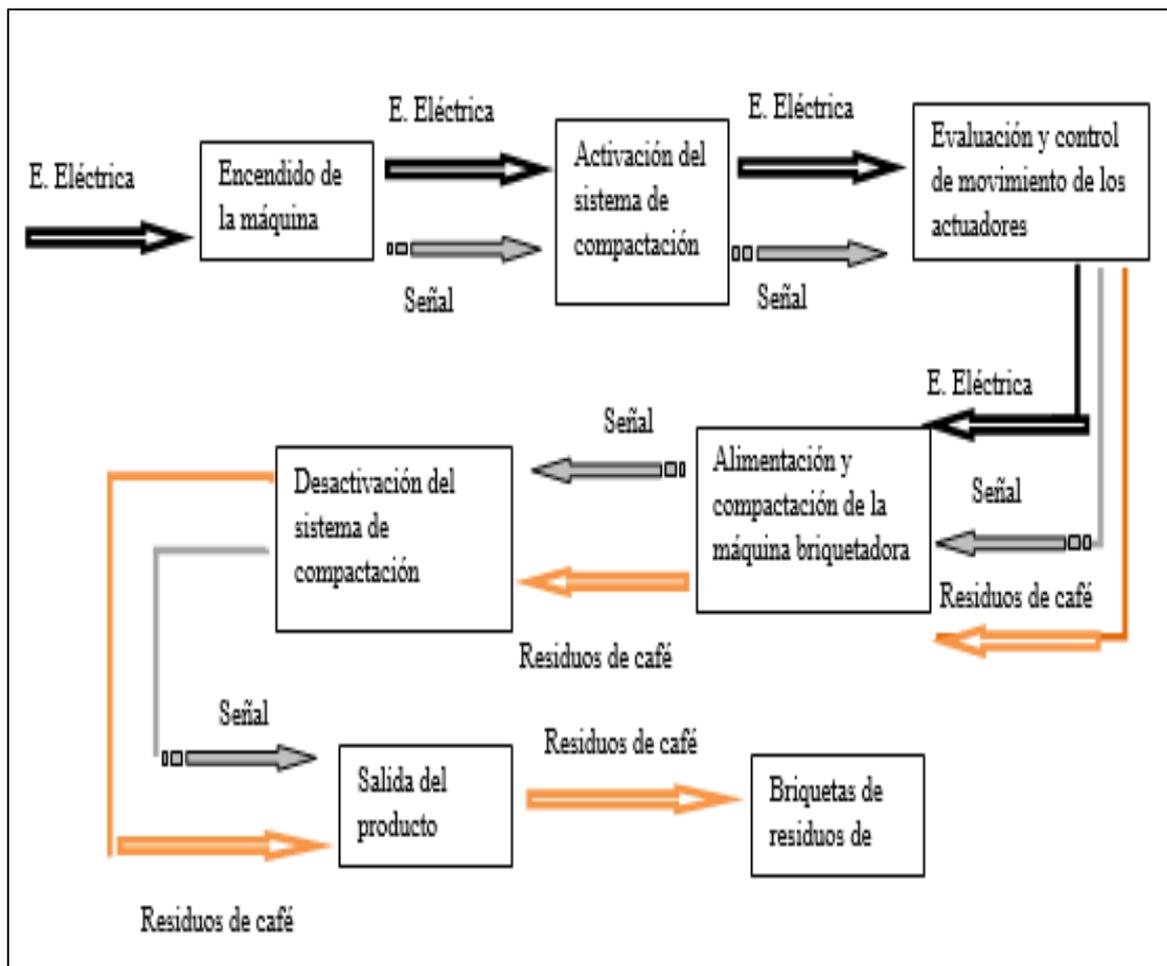


Figura 2-3: Diagrama funcional nivel 1

Fuente: Autores

3.1.1.1 Solución del diagrama funcional

- Soluciones para el diagrama funcional nivel 1

El diagrama principal cumple con diversas funciones, a las cuales se van a dar una o más soluciones con el fin de obtener una combinación de diferentes alternativas. Las funciones correspondientes al módulo uno es:

- ◆ **Encendido.** - Activación del sistema de energía.
- ◆ **Activación del sistema de compactación.** - Mediante un sistema automático.
- ◆ **Evaluación y control de movimiento.** - Controlar y calibrar los movimientos de la máquina para poder obtener mejor calidad en la compactación.
- ◆ **Alimentación y compactación.** - Alimentación a la máquina de forma manual o automática, para su compactación de la materia prima
- ◆ **Desactivación del sistema de compactación.** - Desactivar el sistema de energía mediante pulsador o sistema automático.
- ◆ **Salida del producto.** - Mediante un sistema de tolva o salida por gravedad
- ◆ **Producto final.** - Obtención del producto requerido

3.1.2 *Modelo de artefacto*

Se basa principalmente en la matriz QFD (Despliegue de la Función de Calidad), dicha matriz es un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseños de productos o servicios. (CROSS, Nigel, 1999)

3.1.2.1 *La voz del cliente (requerimientos)*

La satisfacción del cliente empieza por escucharle, es decir conocer e identificar sus expectativas y necesidades. Frecuentemente se ha incurrido en el error de tratar de “imponer” al cliente soluciones tecnológicas o de servicio que están lejos de cubrir sus necesidades, no se adaptan a sus costumbres o simplemente no le gustan. (RUIZ et al., 2009)

Para poder escuchar la voz del cliente que viene hacer los requerimientos que debe cumplir la máquina briquetadora se hace uso de una herramienta creativa que es la lluvia de ideas con el fin de establecer los parámetros necesarios para establecer la mejor opción en el diseño de la máquina.

A continuación, se presenta la lluvia de ideas impuesta por los posibles clientes de la máquina briquetadora.

- Lluvia de ideas



Figura 3-3: Lluvia de ideas de la voz del cliente

Fuente: Autores

3.1.2.2 *Voz del ingeniero (requerimientos técnicos)*

Una vez conocido los requerimientos del cliente debemos interpretar las peticiones en un lenguaje técnico que sea apto para el ingeniero poder realizar la casa de calidad y encontrar la mejor solución posible, los cuales tenemos:

- ◆ Selección de materiales
- ◆ Costos
- ◆ Peso de la máquina
- ◆ Nivel de ruido
- ◆ Acabados de manufactura
- ◆ Volumen de producción
- ◆ Presión de operación
- ◆ Intercambio de elementos
- ◆ Nivel de seguridad industrial
- ◆ Cantidad de material
- ◆ Ergonomía -Confort
- ◆ Normas -Tolerancias
- ◆ Costos de energía
- ◆ Nivel de automatización
- ◆ Dimensiones de la máquina
- ◆ Amigable con el medio ambiente

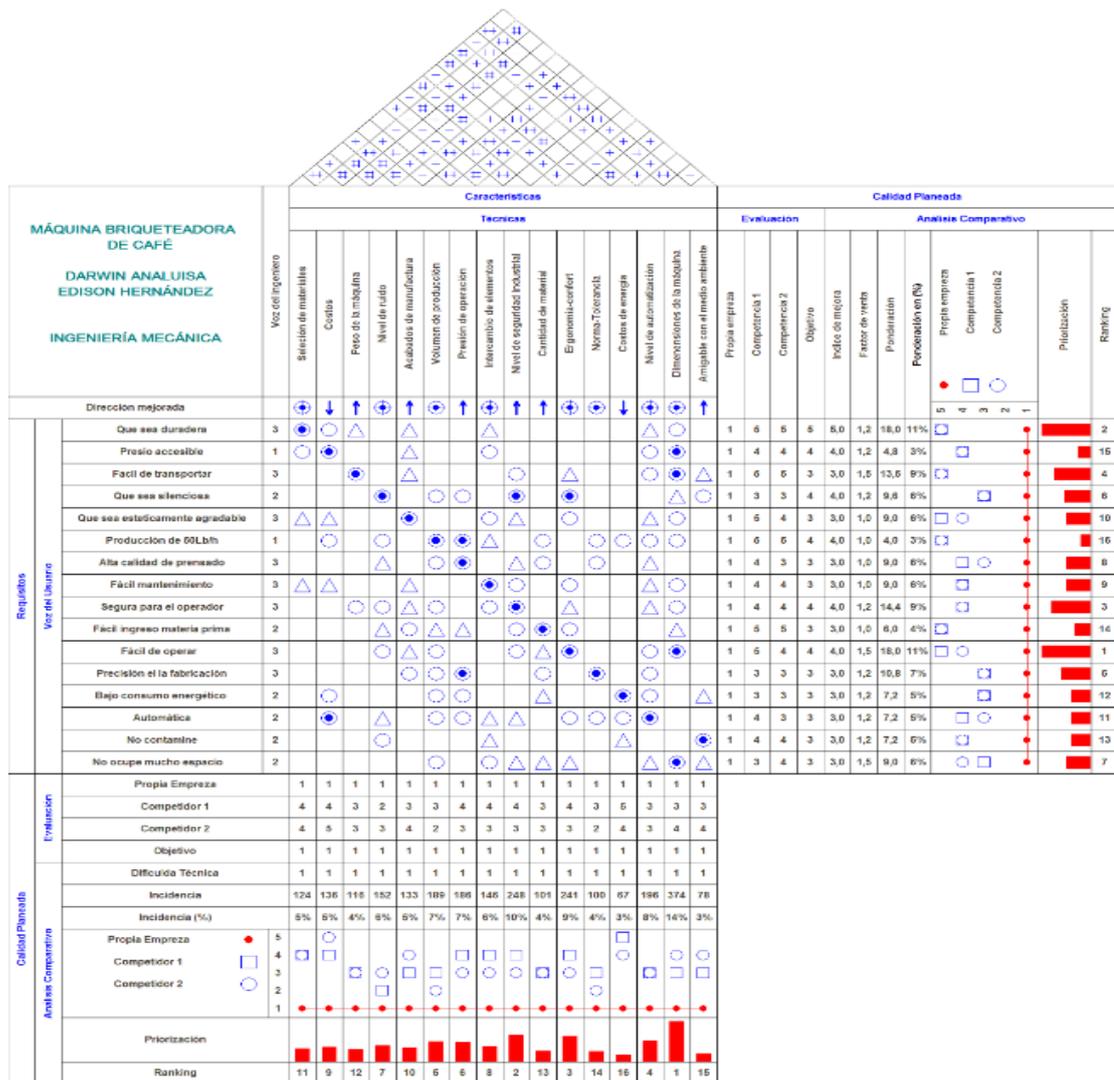


Figura 4-3: Matriz QFD

Fuente: Autores

- Resultados de la matriz QFD.

Los resultados de la casa de la calidad se muestran a continuación, los cual fueron obtenidos mediante el procedimiento descrito por Carles Riba.

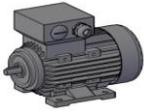
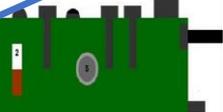
- ◆ Dimensiones de la máquina
- ◆ Nivel de seguridad industrial
- ◆ Ergonomía y confort
- ◆ Nivel de automatización
- ◆ Volumen de producción
- ◆ Presión de operación
- ◆ Nivel de ruido
- ◆ Intercambio de elementos
- Conclusiones de la matriz QFD.

Con los resultados obtenidos y mediante el uso de la matriz QFD, se ha llegado a determinar varias características técnicas, las cuales son de mayor prioridad y por tanto se debe tomar muy en cuenta en el diseño de la máquina briquetadora.

3.2 Especificaciones de los posibles modelos de máquinas

En la sección anterior se establecieron los requerimientos del cliente y se transformaron en especificaciones técnicas para poder construir el modelo de máquina, para ello se analizó y se comparó los modelos existentes en el mercado nacional e internacional, el resultado de esta comparación permitió definir algunos modelos tentativos los cuales se presenta en la siguiente tabla 1-3.

Tabla 1-3: Matriz morfológica

Opciones	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Sistema de alimentación				
Sistema de alimentación de energía				
Sistema de compactación				
Formas de moldes de las briquetas				
Sistema de extracción	Gravedad			
Eyector			Manual	 Tubo
Alternativas	3	2	1	

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Una vez realizada la tabla 1-3, se realiza el pre diseño de cada una de las opciones de máquinas briquetadoras, las cuales se muestran a continuación:

- Opción 1. Máquina briquetadora por actuadores neumáticos.

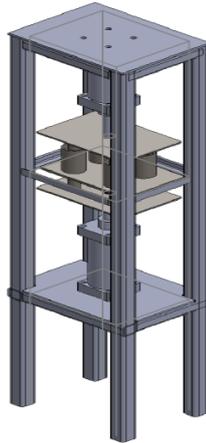


Figura 5-3: Máquina briquetadora por actuadores neumáticos

Fuente: Autores

- Opción 2. Máquina briquetadora por rodillos compactadores.

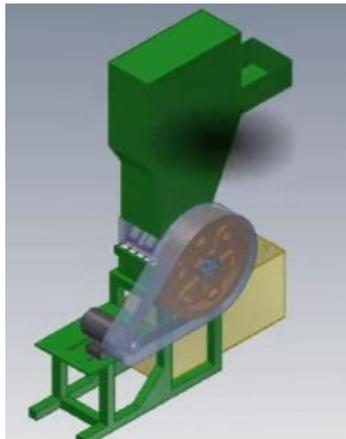


Figura 6-3: Máquina briquetadora de rodillos

Fuente: Autores

- Opción 3. Máquina briquetadora por extrusora de rosca.

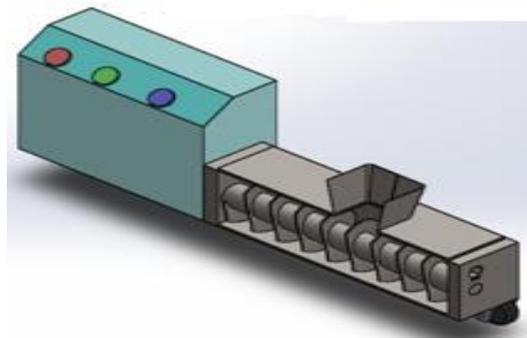


Figura 7-3: Máquina briquetadora por extrusora de rosca

Fuente: Autores

3.3 Evaluación de soluciones

Para poder decidir entre las varias soluciones expuestas en los resultados de la matriz QFD, se aplicó el método ordinal corregido de criterios ponderados, que nos permite obtener resultados relevantes. (RIBBA, 2002)

Esta evaluación se basa en tablas donde cada criterio se compara con los demás criterios e igualmente se realiza con las demás soluciones, y se asigna los siguientes valores.

- ♣ Si el criterio o solución de las filas es mayor que el de las columnas, se da el valor de 1.
- ♣ Si el criterio o solución de las filas es igual al de las columnas, se da el valor de 0,5.
- ♣ Si el criterio o solución de las filas es menor que el de las columnas, se da el valor de 0.

3.3.1 Evaluación de criterios

Tabla 2-3: Evaluación de criterios

	Dimensiones de la máquina	Nivel de seguridad industrial	Ergonomía y confort	Nivel de automatización	Volumen de producción	Presión de operación	Nivel de ruido	Intercambio de elementos	$\Sigma+1$	Ponderación
Dimensiones de la máquina	----	1	1	0,5	1	1	1	1	7,5	0,21
Nivel de seguridad industrial	0	----	0,5	1	1	1	1	1	6,5	0,18
Ergonomía y confort	0	0,5	----	0,5	1	1	1	1	6	0,17
Nivel de automatización	0	0	0,5	----	1	1	1	1	5,5	0,15
Volumen de producción	0	0	0	0	----	1	1	1	4	0,11
Presión de operación	0	0	0	0	0	----	1	1	3	0,08
Nivel de ruido	0	0	0	0	0	0	----	0,5	1,5	0,04
Intercambio de elementos	0	0	0	0	0	0	0,5	----	1,5	0,04
									35,5	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

A continuación, se presenta los resultados de cada uno de los criterios:

- Dimensiones de la máquina

Tabla 3-3: Evaluación de soluciones para las dimensiones de la máquina

Dimensiones de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5	----	1	2,5	0,42
Solución 3	0	0	----	1	0,17
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Nivel de seguridad industrial

Tabla 4-3: Evaluación de soluciones para el nivel de seguridad

Nivel de seguridad industrial	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	0,5	1	2,5	0,41
Solución 2	0,5	----	0,5	2	0,33
Solución 3	0	0,5	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Ergonomía y confort

Tabla 5-3: Evaluación de soluciones para la ergonomía y control

Ergonomía y confort	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	1	1	3	0,5
Solución 2	0	----	0,5	1,5	0,25
Solución 3	0	0,5	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Nivel de automatización

Tabla 6-3: Evaluación de soluciones para el nivel de automatización

Nivel de automatización	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	1	1	3	0,5
Solución 2	0	----	0,5	1,5	0,25
Solución 3	0	0,5	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Volumen de producción

Tabla 7-3: Evaluación de soluciones para el volumen de producción

Volumen de producción	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1	----	1	3	0,5
Solución 3	0,5	0	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Presión de operación

Tabla 8-3: Evaluación de soluciones para la presión de operación

Presión de operación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1	----	1	3	0,5
Solución 3	0,5	0	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Nivel de ruido

Tabla 9-3: Evaluación de soluciones para el nivel de ruido

Nivel de ruido	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	1	1	3	0,5
Solución 2	0	----	0,5	1,5	0,25
Solución 3	0	0,5	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Intercambio de elementos

Tabla 10-3: Evaluación de soluciones para el intercambio de elementos

Intercambio de elementos	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	----	1	1	3	0,5
Solución 2	0	----	0,5	1,5	0,25
Solución 3	0	0,5	----	1,5	0,25
SUMA				6	1

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- Conclusiones

Tabla 11-3: Tabla de conclusiones

CONCLUSIONES	Dimensiones de la máquina	Nivel de seguridad industrial	Ergonomía y confort	Nivel de automatización	Volumen de producción	Presión de operación	Nivel de ruido	Intercambio de elementos	Sumatoria	Prioridad	
	Solución 1	0,088	0,0763	0,0845	0,0775	0,0282	0,0211	0,0211	0,0211	0,4178	1
	Solución 2	0,088	0,061	0,0423	0,0387	0,0563	0,0423	0,0106	0,0106	0,3498	2
	Solución 3	0,0352	0,0458	0,0423	0,0387	0,0282	0,0211	0,0106	0,0106	0,2324	3

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

En la tabla 11-3, se presenta la evaluación de las tres soluciones mediante el método de los criterios ponderados, presentando a la solución 1 como la mejor alternativa para el diseño del modelo máquina briquetadora.

Una vez evaluado todas las soluciones mediante los respectivos criterios de ponderación se concluye que la solución 1 es la mejor alternativa, la cual es un modelo de máquina briquetadora de residuos de café que está constituida con un sistema de compactación neumático semiautomático que comprende dos actuadores, además con sensores del tipo de final de carrera y temporizadores con el fin de obtener la briquetas de dimensiones indicadas, el sistema de expulsión de la briqueta se realiza mediante un actuador neumático, una vez salido del molde se extrae manualmente y se coloca en un sitio adecuado.

CAPÍTULO IV

4. DETERMINACION DE LA FUERZA DE COMPACTACIÓN, SELECCIÓN CONSTRUCCIÓN, Y COSTOS DE LA MÁQUINA BRIQUETADORA DE BORRA DE CAFÉ.

En el presente capítulo se realiza el modelado de la máquina briquetadora para lo cual debemos tener muy claro los parámetros que son necesarios para la fabricación de las briquetas de café como son, forma de briqueta, presión, temperatura y friabilidad.

4.1 Determinación de la presión de compactación requerida para la borra de café.

La presión de compactación de las briquetas se puede observar en la sección 2.2.2, en vista que el diseño de la máquina es de baja presión, la presión que se recomienda para este tipo de máquina es menor o igual a los 5 MPa., ya que para la aplicación de este presión es necesaria utilizar un tipo de aglutínate, por tal motivo se realizó pruebas de compactación de la materia prima (borra de café) con diferentes composiciones de agua y aglutinante para determinar la presión más óptima para el diseño de la máquina, estos ensayos se realizaron en la Máquina Universal de la Facultad de Mecánica de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH.



Figura 1-4: Ensayo de compactación en la máquina universal

Fuente: Autores

Los ensayos realizados fueron a diferentes presiones, cantidad de borra de café, agua y aglutinante; según (ANDRADE.J, 1982) establece un rango específico de presiones que oscilan

entre 2.02MPa.-3.63MPa., conociendo este rango de presiones los ensayos que se realizaron fueron a presiones de 2, 2.5, 3 y 3.5 MPa., a continuación se muestra la tabla 1-4, con diferente composición de residuos de café, agua y aglutinante.

Tabla 1-4: Ensayos de compactación a diferente composición y presión

Sustancia	Ensayo # 1. Café y agua	Ensayo # 2. Café, agua y aglutinante	Ensayo # 3. Café, agua y aglutinante	Ensayo # 4. Café, agua y aglutinante.
Residuos de café	1 lb	1¼ lb	1½ lb	1 ½ lb
Agua	200 ml	40 ml	80 ml	40 ml
Aglutinante	-	200 gr	200 gr	200 gr

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Para los ensayos realizados en cada una de las presiones mencionadas anteriormente se efectuaron 4 probetas a cada presión, dando así 16 probetas, a continuación, se presenta fotografías de los ensayos realizados a las presiones mencionadas.

Tabla 2-4: Resultados de la compactación a diferente composición y presión

Ensayo 1	Ensayo 2
	
Ensayo 3	Ensayo 4
	

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

La tabla 2-4, muestra fotografías de las briquetas obtenidas de los cuatro tipos de ensayos, se puede observar que el estudio más óptimo es el ensayo 4 debido a que no presenta desmoronamiento en la expulsión del molde y no produce grandes fisuras en la briketa a continuación se presenta la tabla 3-4 con los valores de la composición de la mezcla ideal para este ensayo con la cual podemos determinar la presión de compactación óptima y que servirá para el diseño de la máquina.

Tabla 3-4: Composición de la mezcla

Parámetro/Sustancia	Presión	2,771[MPa.]
	Residuos de café (%)	0,68 [Kg] -1 1/2 [lb] (72,68%)
	Agua (%)	850 ml (14,5%)
	Aglutinante (%)	200 g (12,82%)

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 4-4: Presión de compactación para briquetas de borra de café

PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA BRIQUETAS DE CAFÉ (ENSAYO 4)				
A [mm2]	F [Kgf]	F [N]	V[mm/s]	P [MPa]
1661,90	448,14	4396,25	3,00	2,64
1661,90	491,14	4818,08	3,00	2,89
1661,90	429,14	4209,86	3,00	2,53
1661,90	448,14	4396,25	3,00	2,64
1661,90	531,14	5210,48	3,00	3,13
Promedio	469,54	4606,18		2,77

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

En la tabla 4-4, podemos observar el área de compactación de la briketa que va a estar sometido la fuerza y la velocidad a que se realiza los ensayos, dando así una fuerza de resistencia de la materia prima promedio de 469,54 Kgf (4606,1874 N) es decir una presión de 2,77 MPa., esta presión se encuentra en el rango de las máquinas de baja presión que son consideradas menores a los 5 MPa.

4.2 Cálculo de la fuerza útil en el vástago del cilindro de compactación.

Para este proceso la fuerza del cilindro se debe tomar en cuenta la resistencia de la materia prima, el peso de la placa, y los pines de compactación, a continuación, se elabora el diagrama del cuerpo libre del mecanismo de compactación.

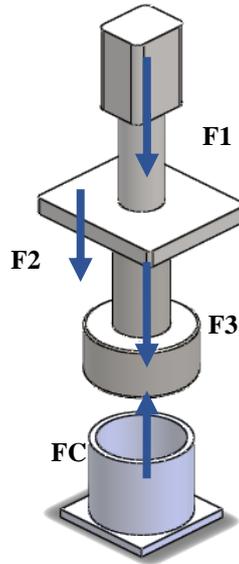


Figura 2-4: Diagrama del cuerpo libre del sistema de compactación

Fuente: Autores

Donde:

$F1 = \text{Fuerza del pistón [N]}$

$F2 = \text{Fuerza de la placa (Peso) [N]}$

$F3 = \text{Fuerza de pin de compactación (Peso) [N]}$

$FC = \text{Fuerza de resistencia de café [N]}$

4.2.1 Cálculo del peso de la placa.

La placa debe tener las dimensiones que se muestra en la imagen, para realizar el cálculo del peso de la placa tomaremos del catálogo DIPAC en donde establece la siguiente fórmula:

$$Peso = \frac{L * A * e * 7,85}{1x10^6} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$L = \text{Largo [mm]}$

$A = \text{Ancho [mm]}$

$e = \text{Espesor [mm]}$

$Peso = \text{[Kg]}$

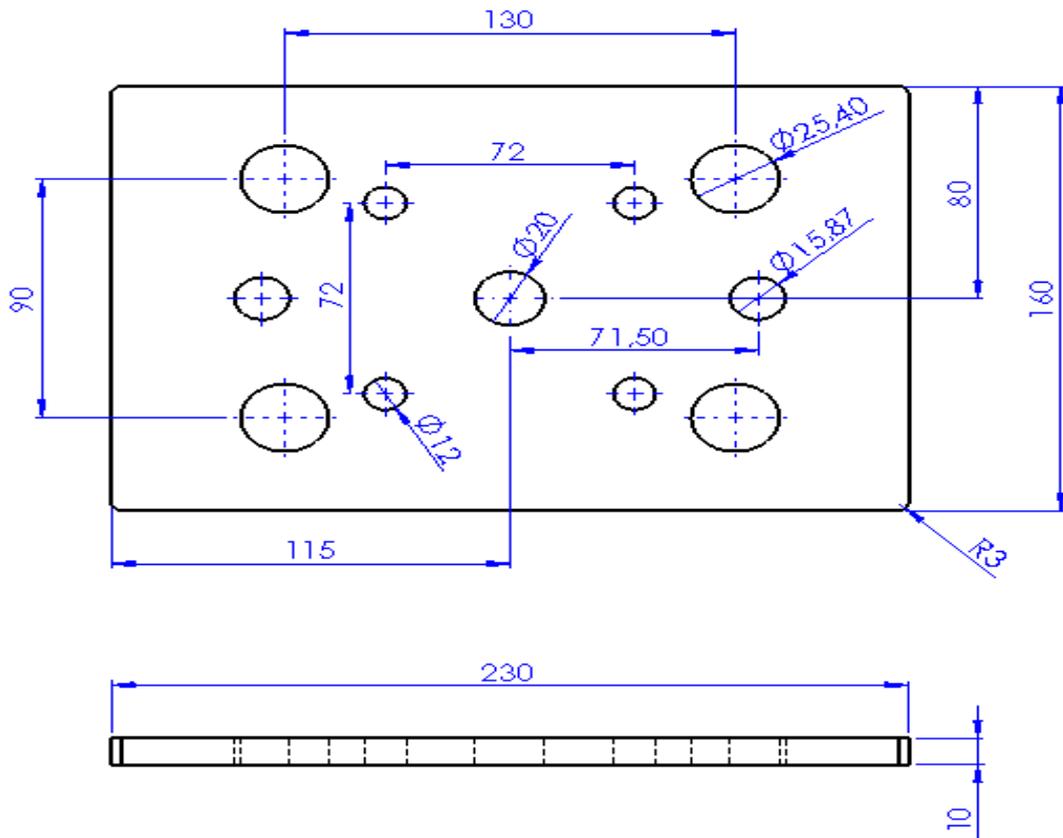


Figura 3-4: Placa superior

Fuente: Autores

$$V_s = L * A * e \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

V_s = Volumen del sólido [mm^3]

e = Espesor de la placa [mm]

A = Ancho [mm]

$$V_s = (230 \text{ mm}) * (160 \text{ mm}) * (10 \text{ mm}) = 368000 \text{ mm}^3$$

$$V_c = \frac{\pi D^2 e}{4} \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde:

V_c = volumen del cilindro [mm^3]

D = Diámetro de los agujeros [mm]

e = Espesor de la placa [mm]

Como son agujeros de distintos diámetros entonces hay que calcular el volumen del sólido cilíndrico para cada uno.

Para D=25,4 mm

$$V_1 = \frac{\pi(25,4 \text{ mm})^2(10 \text{ mm})}{4} = 5067,07 \text{ mm}^3$$

A este valor ay que multiplicarlo por 4, ya que son 4 agujeros con el mismo diámetro.

$$V_1 = 4 * (5067,07 \text{ mm}^3) = 20268,299 \text{ mm}^3$$

Para D=20 mm

$$V_2 = \frac{\pi(20 \text{ mm})^2(10 \text{ mm})}{4} = 3141,593 \text{ mm}^3$$

Para D=12 mm

$$V_3 = \frac{\pi(12 \text{ mm})^2(10 \text{ mm})}{4} = 1130,97 \text{ mm}^3$$

A este valor ay que multiplicarlo por 4, ya que son 4 agujeros con el mismo diámetro.

$$V_3 = 4 * (1130,97 \text{ mm}^3) = 4523,89 \text{ mm}^3$$

Para D=15,87 mm

$$V_4 = \frac{\pi(15,87 \text{ mm})^2(10 \text{ mm})}{4} = 1978,07 \text{ mm}^3$$

A este valor ay que multiplicarlo por 2, ya que son 2 agujeros con el mismo diámetro

$$V_4 = 2 * (1978,07 \text{ mm}^3) = 3956,15 \text{ mm}^3$$

Hay que sumar todos los volúmenes de los cilindros para luego restar del volumen del solido

$$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad \text{Ec.(4)}$$

$$\sum V = 31889,932 \text{ mm}^3$$

Aplicamos la fórmula del catálogo de DIPAC

$$Peso = \frac{(368000 \text{ mm}^3 - 31889,932 \text{ mm}^3) * 7,85}{1 * 10^6} = 2,638 \text{ Kg}$$

$$Peso = 25,878 \text{ N} = F2$$

4.2.2 Cálculo del peso de los pines de compactación.

Los pines de compactación serán manufacturados de acero AISI 1018 con las dimensiones que se muestra en la imagen, para realizar el cálculo del peso de dichos pines se realiza mediante el software SolidWorks, dando como resultado 693 g, este valor debemos multiplicar por 4 ya que se utilizara 4 pines de aplicación, estableciendo un valor de 2 772 g, este valor debe ser transformado a newtons dando un resultado final de 27,193 N=F3.

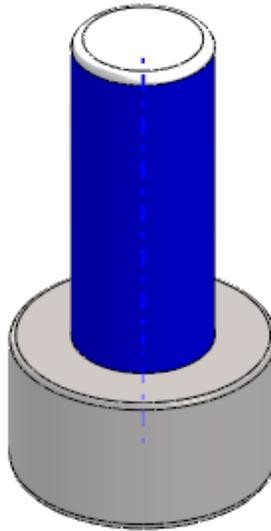


Figura 4-4: Pin de compactación

Fuente: Autores

4.2.3 Cálculo de la fuerza de requerida para compactar la briqueta.

Esta fuerza es la fuerza necesaria que se necesita en cada molde de la briqueta, es decir, la fuerza que requerimos al compactar un volumen de residuos de café a una altura de 50 mm.

Para realizar este cálculo debemos tener en cuenta el diagrama de cuerpo libre que se mencionó anteriormente y la presión establecida de compactación de la briqueta para este cálculo se realiza de sumatoria de fuerzas en el eje "y" dando así la fuerza del pistón que se requiere para compactar la briqueta.

$$\sum Fy = 0 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$F1 + F2 + F3 - FC = 0$$

$$F1 + 25,878N + 27,193N - 4606,1874 = 0$$

$$F1 = 4 553,12N$$

Una vez obtenido la fuerza necesaria debemos asegurar que esta fuerza sea capaz de realizar la compactación por tal motivo a este valor debemos multiplicar por un factor de seguridad ($n=1,1$).

$$F_1 = 4\,553,12 * 1,1 = 5\,008,42 \text{ N}$$

4.3 Selección de los componentes neumáticos.

Para el diseño de la máquina briquetadora de café hay tomar en consideración los requerimientos y necesidades del usuario con el fin de determinar los diferentes elementos que formaran parte de la máquina para realizar su diseño, selección y construcción de las mismas.

En primera instancia se procede a la selección de los componentes neumáticos ya es estos influirán en el diseño de la máquina briquetadora y principalmente el cálculo de la estructura.

4.3.1 Selección del cilindro de compactación.

Una vez establecido la fuerza necesaria de compactación se deben realizar la selección del actuador neumático adecuado para este trabajo lo cual en primera instancia se utilizará un monograma de selección de actuadores neumático, el mismo que es el encargado de subir y bajar los pines de compactación

$$F_1 = 5\,008,42 \text{ N}$$

$$P_{\text{aire}} = 7 \text{ Bar}$$

Hay que tomar en cuenta que la fuerza promedio necesaria requerida en los ensayos de compactación es de 469.54 Kgf, en un solo sentido de compactación, sin embargo el diseño de la máquina briquetadora va actuar en forma de una compactadora bidireccional por lo tanto se aplicara dos actuadores neumáticos, reduciendo así a la mitad de la fuerza requerida por tal motivo se seleccionó actuador neumático CHELIC PNEUMATIC SI 80 x 100 ya que este actuador nos permite una fuerza teórica máxima 351.7 kgf en expulsión y una fuerza teórica máxima de 317.3 kgf. en retroceso, por lo tanto, la fuerza de compactación teórica para este modelo de máquina briquetadora supera la fuerza requerida en los ensayos ya que la fuerza obtenida en este modelo de máquina será de 703.4 Kgf,

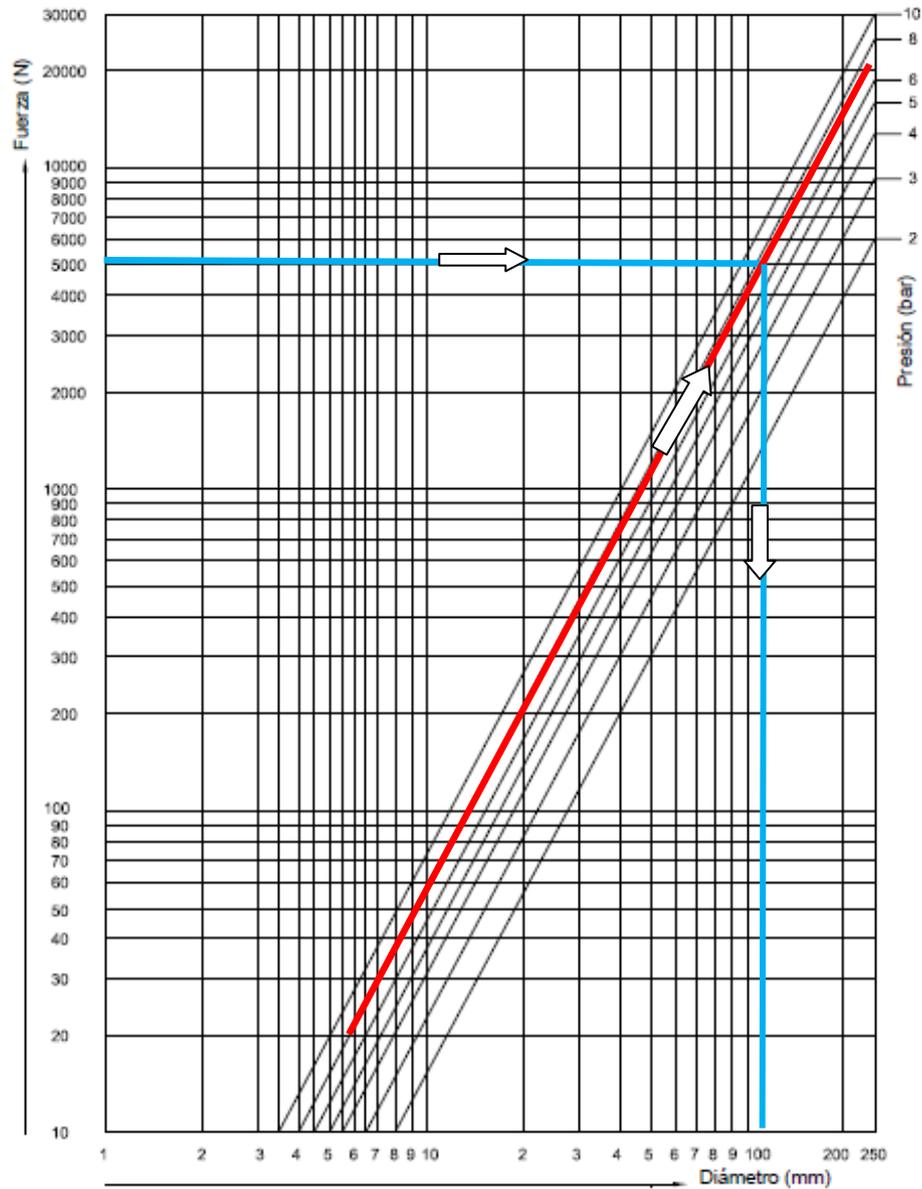


Figura 5-4: Monograma de selección de actuadores neumáticos

Fuente: (MICROAUTOMATIZACIÓN, 2014)

Según el nomograma el diámetro del actuador neumático es de 110 mm, el diámetro estándar existentes en el mercado es de 100 [mm] y de 125 [mm] por lo que se seleccionó en primera instancia un actuador neumático CHELIC PNEUMATIC SI 100 x 100 con una fuerza de 549.5 Kgf.

■ Compressed air consumption table



Unit :Kgf

Bore size (mm)	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250		
Rod size (mm)	4	6	6	8	10	12	16	20	20	25	25	36	40	40	50		
Piston area (cm ²)	A ₁	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.5	19.6	31.2	50.2	78.5	122.7	201	314.1	490.8	
	A ₂	0.6	0.9	1.7	2.6	4.1	6.9	10.6	16.5	28.0	45.3	73.6	112.5	188.4	301.5	471.2	
Operating air Pressure (kgf/cm ²)	1	A ₁	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.6	19.6	31.2	50.2	78.5	122.7	201	314.1	490.8
		A ₂	0.6	0.9	1.7	2.6	4.1	6.9	10.6	16.5	28.0	45.3	73.6	112.5	188.4	301.5	471.2
	2	A ₁	1.6	2.3	4.0	6.3	9.8	16.1	25.1	39.3	62.3	100.5	157.0	245.4	402.1	628.3	981.6
		A ₂	1.2	1.7	3.5	5.3	8.2	13.8	21.1	33.0	56.0	90.7	147.2	225	376.9	603.1	942.4
	3	A ₁	2.4	3.4	6.0	9.4	14.7	24.1	37.7	58.9	93.5	150.7	235.5	368.1	603.1	942.4	1472.4
		A ₂	1.8	2.5	5.2	7.9	12.4	20.7	31.7	49.5	84.0	136.0	220.8	337.5	565.4	904.7	1413.6
	4	A ₁	3.2	4.5	8.0	12.6	19.6	32.2	50.2	78.5	124.6	201.0	314.0	490.8	804.2	1256.6	1963.2
		A ₂	2.4	3.4	6.9	10.6	16.5	27.6	42.2	65.9	112.1	181.3	294.4	450	753.9	1206.2	1884.8
	5	A ₁	4.0	5.7	10.1	15.7	24.5	40.2	62.8	98.1	155.8	251.2	392.5	613.5	1005.3	1570.8	2454
		A ₂	3	4.2	8.7	13.2	20.6	34.5	52.8	82.4	140.1	226.7	368.0	562.5	942.4	1507.8	2356
	6	A ₁	4.7	6.8	12.1	18.9	29.4	48.2	75.4	117.8	186.9	301.4	471.0	736.2	1206.3	1884.9	2944.8
		A ₂	3.6	5.1	10.4	15.8	24.7	41.5	63.3	98.9	168.1	272.0	441.6	675	1130.9	1809.4	2827.2
	7	A ₁	5.5	7.9	14.1	22.0	34.3	56.3	87.9	137.4	218.1	351.7	549.5	858.9	1407.4	2199.1	3435.6
		A ₂	4.2	5.9	12.1	18.5	28.9	48.4	73.9	115.4	196.1	317.3	515.2	787.5	1319.4	2110.9	3298.4
	8	A ₁	6.3	9.0	16.1	25.1	39.3	64.3	100.5	157.0	249.3	401.9	628.0	981.6	1608.4	2513.2	3926.4
		A ₂	4.8	6.8	13.8	21.1	33.0	55.3	84.4	131.9	224.1	362.7	588.8	900	1507.9	2412.5	3769.6
	9	A ₁	7.1	10.2	18.1	28.3	44.2	72.3	113.0	176.6	280.4	452.2	706.5	1104.3	1809.5	2827.4	4417.2
		A ₂	5.4	7.6	15.5	23.8	37.1	62.2	95.0	148.4	252.1	408.0	662.4	1012.5	1696.4	2714.1	4240.8

Figura 6-4: Selección del actuador neumático con la fuerza requerida y la presión de aire

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)



Model	Bore Size Ø mm	Theoretical Thrust Kgf	Operation	Mounting Type	Speed Range mm / s	Pressure Range Kgf / cm ² (Kpa)	Standard Stroke mm
DN-32	32	40	Double Acting		50 ~ 700		50 ~ 300
DN-40	40	62					50 ~ 400
DN-50	50	98					50 ~ 500
DN-63	63	155					50 ~ 500
DN-80	80	251					50 ~ 1000
DN-100	100	392					50 ~ 1000
DN-125	125	613					
DN-160	160	1004					
DN-200	200	1570					

Figura 7-4: Modelo y características de actuadores neumáticos

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

4.3.2 Cálculo del consumo de aire.

Una vez seleccionado del actuador neumático adecuado para este trabajo se procede a realizar el cálculo del consumo de aire del mismo, por lo tanto, se utiliza monograma de consumo de aire que tiene el cilindro neumático seleccionado.

En la figura 8-4, se muestra como calcular el consumo de aire en actuadores neumáticos mediante el uso de un monograma, para ello es necesario conocer el diámetro del actuador neumático y la presión a la que se encuentra sometido este elemento. El consumo de aire de cada actuador neumático es de 4,5 NI/mm tanto en expulsión como en retroceso.

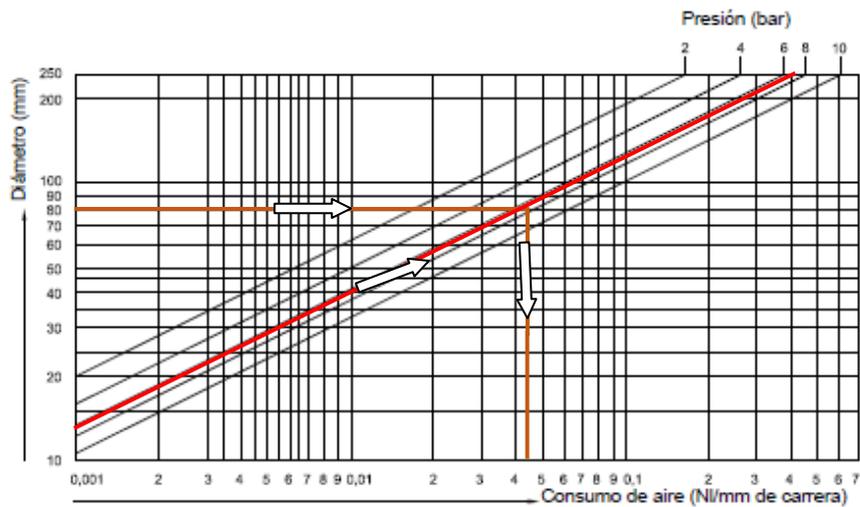


Figura 8-4: Monograma de consumo de aire en los actuadores neumáticos

Fuente: (MICROAUTOMATIZACIÓN, 2014)

4.3.3 Electroválvulas.

Son las encargadas controlar el movimiento del sistema de compactación y el correcto accionamiento de los diferentes cilindros neumáticos.



Figura 9-4: Electroválvula 5/2

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

Tabla 5-4: Especificaciones de la electroválvula 5/2

Marca	CHELIC SV9104-A1-K
Tipo de accionamiento	Válvula 5/2 monoestable (con muelle)
Presión de operación	150-700 KPa
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	0 – 60 °C
Montaje	Mediante tornillos de sujeción
Conexión	1/2
Tensión solenoide	AC110V, 5 VA
Material	Aleación de aluminio

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

4.3.4 Tuberías neumáticas.

Se utilizan para acoplar los distintos dispositivos neumáticos, son fabricados de diferentes materiales y tamaños dependiendo de su uso.



Figura 10-4: Tubería neumática

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

Tabla 6-4: Especificaciones de los conectores neumáticos

Marca	CHELIC PU1065-B
Material	Poliuretano
Presión de operación	10 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	0 – 60 0C
Diámetro	10 mm

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)



Figura 11-4: Conectores rápidos

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

Tabla 7-4: Especificaciones de los conectores rápidos

Marca	PARKER
Material	Latón
Presión de operación	15 bar
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	0-60 0C
Diámetro	1/2 in

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

4.3.5 Unidad de mantenimiento neumático (FRL)

Es la encargada de mantener el aire limpio de impurezas en todo el sistema, evitando que los elementos se dañen o se deterioren, está constituida por un filtro de aire, un regulador de presión y un lubricador, todo esto hace que los dispositivos funcionen adecuadamente.



Figura 12-4: Unidad de mantenimiento neumático (FRL)

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

Tabla 8-4: Especificaciones de la unidad de mantenimiento neumático (FRL)

Marca	CHELIC NFC-400-04-S
Tipo	NPT
Presión de operación	0- 850 KPa.
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	5 –60 °C
Montaje	Mediante tornillos de sujeción

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

4.3.6 Sensor magnético.

El sensor inductivo o de proximidad detecta el campo magnético del vástago permitiendo utilizado para detectar la posición los finales de carrera de los cilindros neumáticos.



Figura 13-4: Sensor magnético CHELIC

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

Tabla 9-4: Especificaciones del sensor magnético CHELIC CS-80B

Marca	CHLEIC
Tipo	Swich magnético con contacto normalmente abierto
Modelo	CS-80B
Fluido	Aire comprimido
Temperatura de funcionamiento	10 – 70°C
Montaje	Mediante tornillo de sujeción
Voltaje	DC.AC. 5 ~ 240 – 200 mA

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CHELICCORP.LTD, 2015)

4.4 Resultados del MEF de la estructura de la máquina briquetadora.

Con el propósito de formar una estructura que soporte los requerimientos de carga definidos en el presente proyecto se definirá un material idóneo para la construcción de la estructura y del sistema de compactación pues este material tiene que tener las siguientes características:

- ◆ Resistencia Mecánica
- ◆ Flexibilidad
- ◆ Maleabilidad
- ◆ Facilidad de maquinado

Conociendo las características esenciales que debe tener la máquina briquetadora se definió el material ASTM A 36 ya que este brinda todas las características definidas anteriormente, la máquina briquetadora es necesario que cumpla con las siguientes especificaciones:

- ◆ Diámetro del envase: 47 mm,
- ◆ Longitud del envase: 100 mm.
- ◆ El producto a envasar es una mezcla de borra de café con un aglutinante (almidón de yuca).
- ◆ Trayectoria del producto a compactar: vertical.

4.4.1 Soporte de las placas y actuadores neumáticos (estructura)

Para realizar el diseño de la estructura se toma en cuenta el peso de todos los elementos que forman la máquina briquetadora y el producto, con la ayuda del método de elementos finitos se determina la resistencia que tiene la estructura.

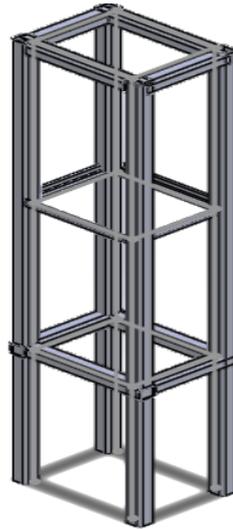


Figura 14-4: Soporte estructural

Fuente: Autores

4.4.1.1 *Características geométricas de la estructura.*

La estructura es construida con perfil estructural 40x40x3 de acero ASTM A-36 que cumple con los estándares establecidos anteriormente.

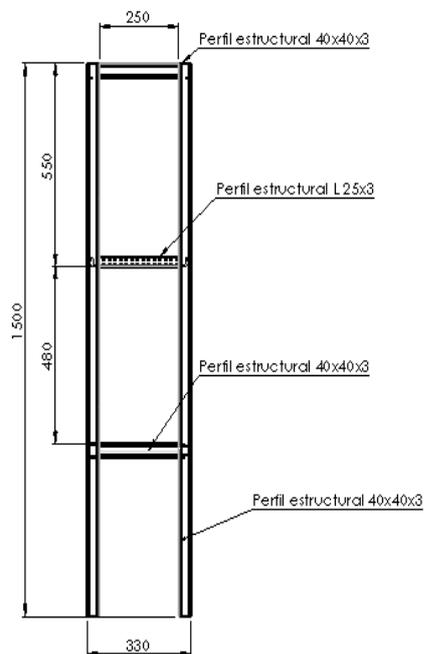


Figura 15-4: Características de la estructura

Fuente: Autores

La estructura debe soportar todos los elementos que conforman la máquina briquetadora y los envases llenos con el producto, por tal motivo se realiza un análisis por el método de elementos

finitos ingresando la estructura al software ANSYS, para realizar el mallado del soporte y calculara su factor de seguridad.

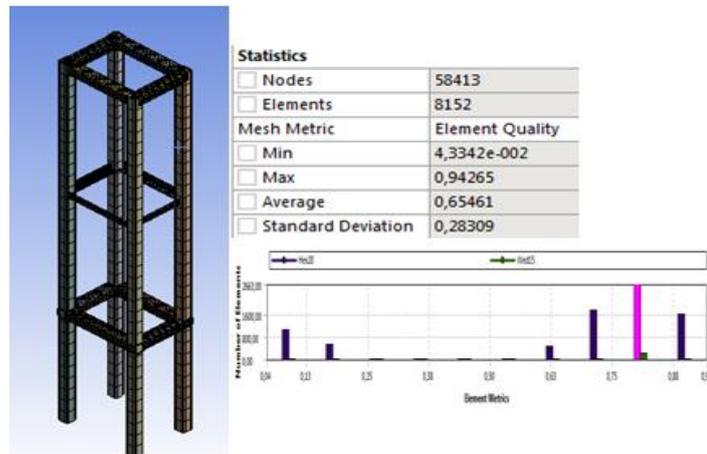


Figura 16-4: Mallado del soporte

Fuente: Autores

El análisis de MEF se realiza en la estructura incluyendo los pesos de las placas y los actuadores neumáticos, a continuación, se introduce los parámetros de carga y puntos de apoyo en el soporte.

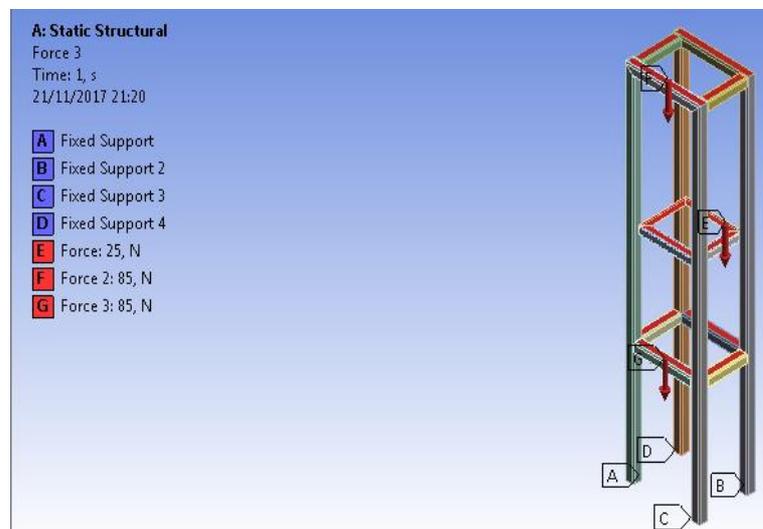


Figura 17-4: Cargas y apoyos

Fuente: Autores

4.4.1.2 Resultados de MEF

El análisis determina la resistencia que tiene la estructura a la carga aplicada, a continuación, se muestra dos figuras importantes que son la deformación total del soporte y la del factor de seguridad.

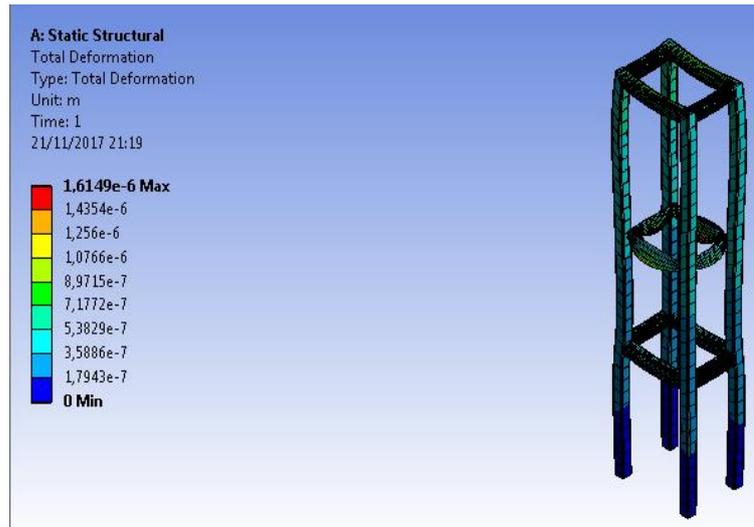


Figura 18-4: Deformación total del soporte

Fuente: Autores

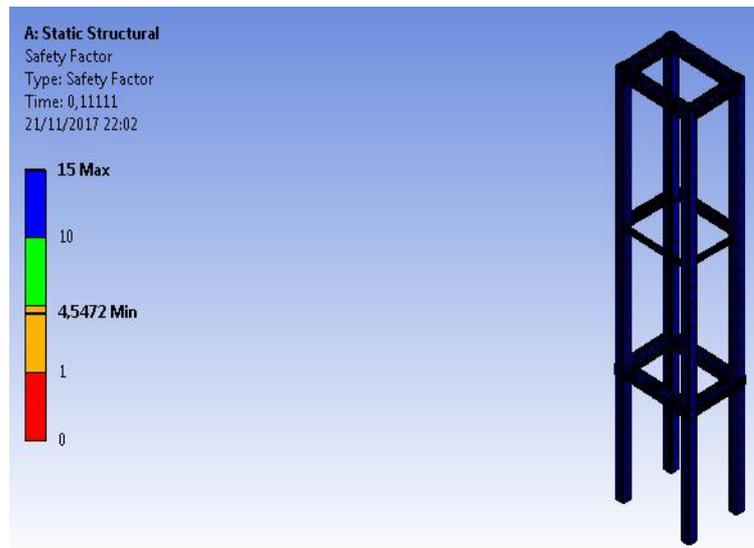


Figura 19-4: Factor de seguridad

Fuente: Autores

4.5 Proceso de construcción, funcionamiento y costos de la máquina briquetadora de residuos de café.

Las máquinas y herramientas que se utilizaron para la construcción y montaje de la máquina briquetadora de residuos de café se menciona a continuación:

- ♣ Torno
- ♣ Cortadora por plasma
- ♣ Soldadora de arco
- ♣ Esmeriladoras
- ♣ Amoladoras
- ♣ Taladro de mano

- ◆ Flexómetro
- ◆ Calibrador pie de rey
- ◆ Escuadra
- ◆ Brocas
- ◆ Pulidoras
- ◆ Taladro de pedestal
- ◆ Martillos
- ◆ Llave inglesa
- ◆ Lijas de pulido
- ◆ Limatón

4.5.1 Elementos de construcción.

A continuación, se detalla todos los sistemas, elementos, cantidad y material/modelo que conforman la máquina briquetadora de residuos de café.

Tabla 10-4: Elementos de construcción

Denominación	Elemento	Cantidad	Material/Modelo
Sistema de compactación	Eje de transmisión Ø 25.4 mm.	1 [m]	ANSI 1018
	Eje de transmisión Ø 47 mm.	0,3 [m]	ANSI 1018
	Tubo poste Ø 50.8 mm	0,5 [m]	ASTM A 36
Estructura (soporte)	Perfil estructural cuadrado 40x40x3	9 [m]	ASTM A 36
	Perfil estructural ángulo "L" 25x3	0,5 [m]	ASTM A 36
	Plancha para soporte [0.35x0.17x8]	0,12 [m ²]	ASTM A 36
	Plancha para soporte [0.25x0.17x10]	0,043[m]	ASTM A 36
	Pernos Allen	12	M10x35
Sistema neumático	Actuadores neumáticos	2	CHELIC
	Electro válvulas 5/2	1	CHELIC
	Electro válvulas 5/3	1	PNEUMATICS
	Conectores 1/2 in	8	PARKER
	Reguladores de presión	4	CHELIC
	Manguera neumática	8 [m]	CHELIC
	Unidad de mantenimiento neumático (FRL)	1	CHELIC
	Tee rápido	1	CHELIC
	Válvula de deslizamiento	1	PNEUMATICS
	Acoples de aire	1	CHELIC
Sistema de control y eléctrico	Sensores de proximidad	5	CHELIC
	Arduino MEGA	1	2560
	Cable	0,5	Multipar
	Cable eléctrico	5	Gemelo
	Relés	1	
	Pulsadores	3	

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.5.2 *Tiempos de construcción.*

A continuación, se especifica la operación y los tiempos de construcción para cada uno elemento que forman parte estructural de la máquina briquetadora.

Tabla 11-4: Tiempos de construcción

Sistema	Elemento	No.	Operación	Tiempo [min.]
Sistema de compactación	Pines de compactación superior	01	Toma de medidas	8
		02	Trazado	2
		03	Corte	15
		04	Torneado	45
		05	Rectificado	2
	Pines de compactación inferior	06	Toma de medidas	8
		07	Trazado	2
		08	Corte	15
		09	Torneado	45
		10	Rectificado	2
	Envases de compactación	11	Toma de medidas	5
		12	Trazado	2
		13	Corte	10
		14	Rectificado	15
Estructura (soporte)	Estructura lateral derecha	15	Toma de medidas	10
		16	Trazado	5
		17	Corte	20
		18	Pre soldado	30
	Estructura lateral izquierda	19	Toma de medidas	10
		20	Trazado	5
		21	Corte	20
		22	Pre soldado	30
	Tapa superior de fijación	21	Toma de medidas	5
		22	Trazado	5
		23	Corte	15
		24	taladrado	25
	Tapa intermedia de fijación	25	Toma de medidas	5
		26	Trazado	5
		27	Corte	15
		28	taladrado	25
	Tapa inferior de fijación	29	Toma de medidas	5
		30	Trazado	5
31		Corte	15	
32		taladrado	25	

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.5.3 *Estructura*

La estructura que soportara los elementos de la máquina como son los actuadores neumáticos, electroválvulas y pines de compactación es de tubo estructural ASTM A36 cuadrado de

40x40x3 y perfil L 25x25x3. Consiste de un cuerpo rectangular con dos niveles en donde se alojarán las placas con los actuadores neumáticos.



Figura 20-4: Estructura

Fuente: Autores

4.5.4 Pines de compactación.

Los pines de compactación se los realizo de acero de transmisión AISI 1018 con procesos de refrentado y cilindrado. Los pines deben ingresar en los moldes sin mucha fricción por lo que recibió un rectificado de la superficie para que tenga un mejor acabado y así reducir la fricción.



Figura 21-4: Pin de compactación

Fuente: Autores

4.5.5 Placas de soporte.

Las placas que soportan tanto los pines de compactación, los actuadores neumáticos y el molde son de acero estructural ASTM A36, los cuales recibieron procesos de corte por plasma, rectificado y taladrado según sean las dimensiones necesarias para cumplir con el diseño planteado.



Figura 22-4: Placas de soporte

Fuente: Autores

4.5.6 Pintura.

La máquina recibió una pintura de poliuretano que brinda un brillo resistente y duradero ante la corrosión, ya que la máquina va a estar expuesta al medio ambiente y esto le proporciona una capa de protección al acero del cual está construido esta máquina.



Figura 23-4: Estructura pintada

Fuente: Autores

4.5.7 Sistema de control y automatización.

Para el sistema de control primero nos enfocaremos en realizar un método de automatismo secuencial que es el método de GRAFCET el mismo que puede ser utilizado en cualquier tecnología secuencial, este método nos permite describir los procesos a automatizar de la máquina briquetadora, el GRAFCET debe hacer seguir el camino de por donde tiene que ir el diagrama saltando de etapa a etapa cuando se cumpla la transición establecida previamente y para q se cumpla tiene que hacerse eléctricamente.

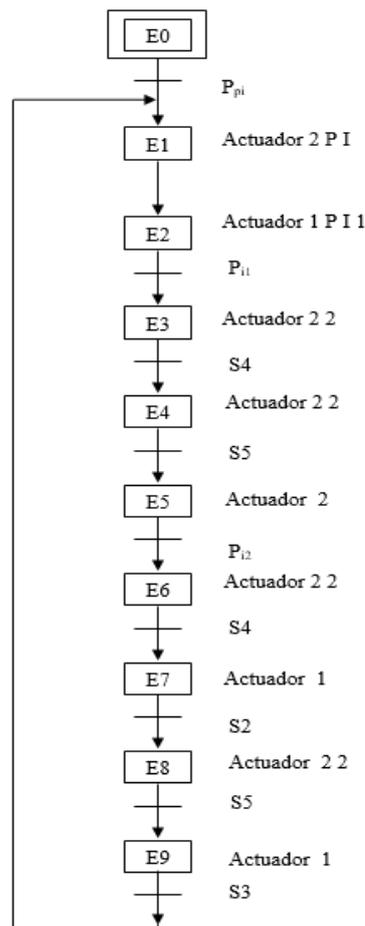


Figura 24-4: Método GRAFCET

Fuente: Autores

Actuadores	Sensores	Pulsadores
Activa actuador neumático 1	S1= detecta sensor lógico 1	P _{pi} = Pulso de posición inicial
Activa actuador neumático 2	S2= detecta sensor lógico 2	P _{i1} = Pulso de inicio
	S3= detecta sensor lógico 3	P _{i2} = Pulso de inicio
	S4= detecta sensor lógico 4	
	S5= detecta sensor lógico 5	

4.5.8 Simulación y programación de la máquina briquetadora.

La simulación de la máquina briquetadora se realiza en el programa FESTO-FluidSIM en el mismo que se realiza mediante electro neumática aplicando la secuencia neumática B+ B- B+ A+ B- A-, se debe tomar en cuenta que al realizar la secuencia neumática se utiliza una electro válvula 5/2 para controlar el cilindro neumático B mientras que para controlar el cilindro neumático A se utiliza una electro válvula 5/3 y finalmente se desarrolla el programa de funcionamiento de la máquina briquetadora en el software libre Arduino.

Secuencia neumática: B+ B- B+ A+ B- A-

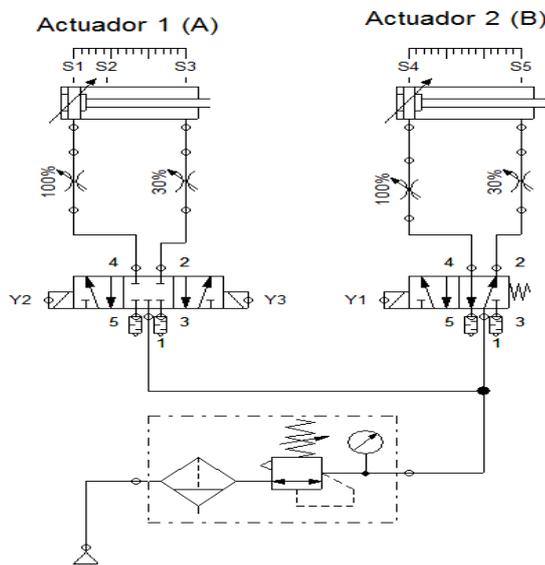


Figura 25-4: Diagrama de elementos neumáticos

Fuente: Autores

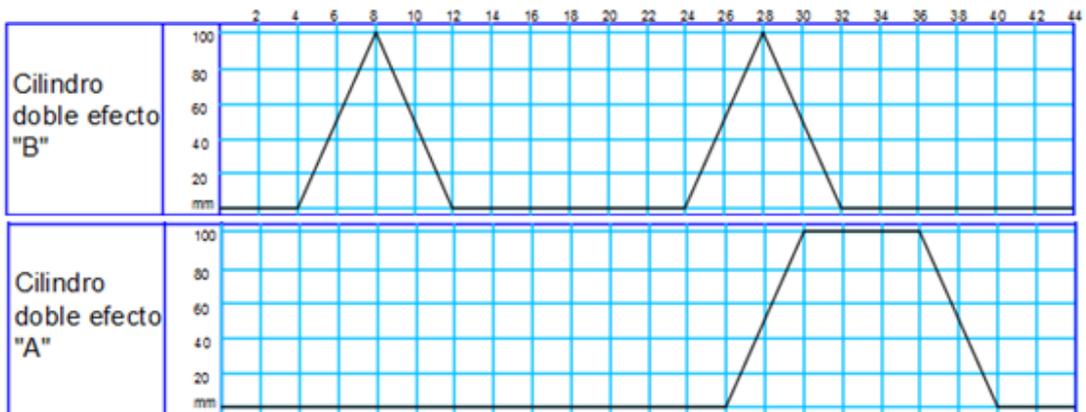


Figura 26-4: Diagrama de fases

Fuente: Autores

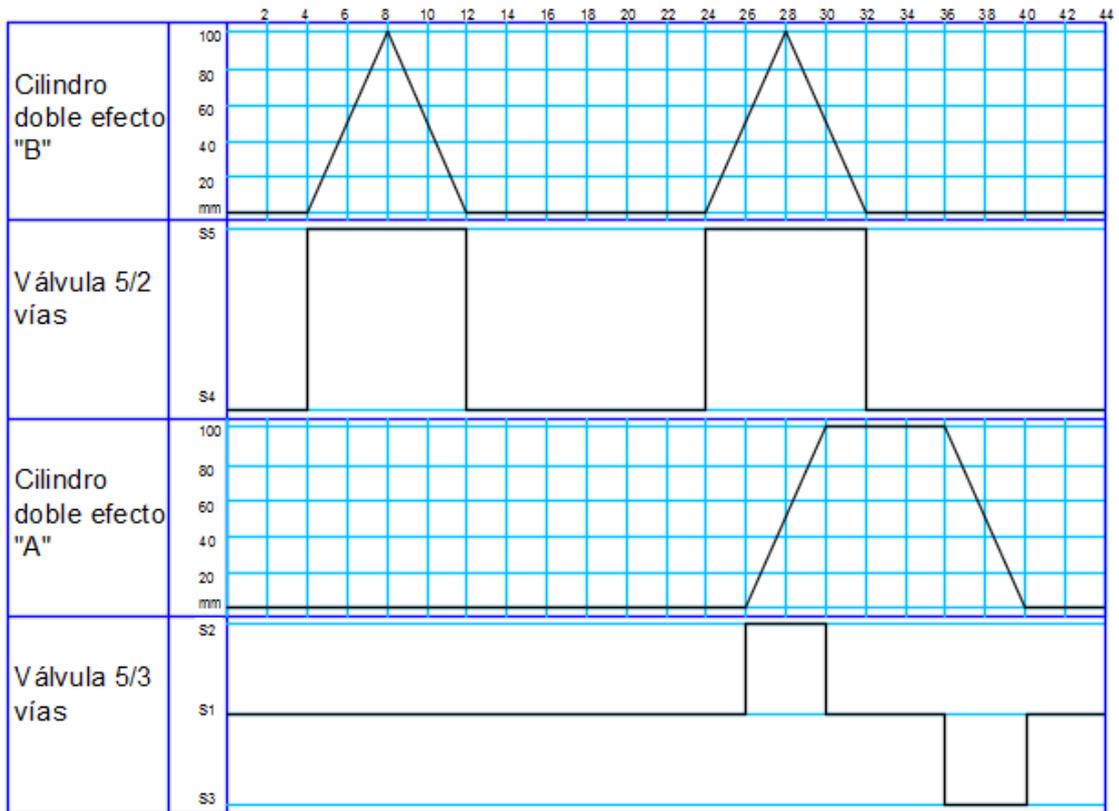


Figura 27-4: Diagrama de fases y señales

Fuente: Autores

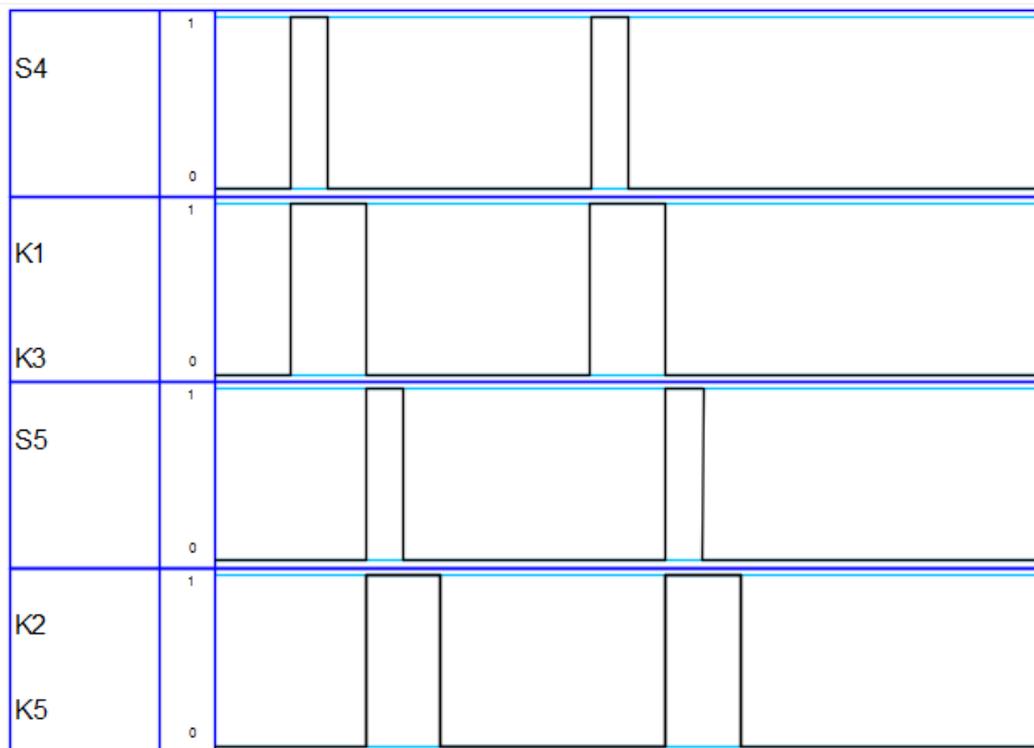


Figura 28-4: Diagrama de señales de mando (Actuador A)

Fuente: Autores

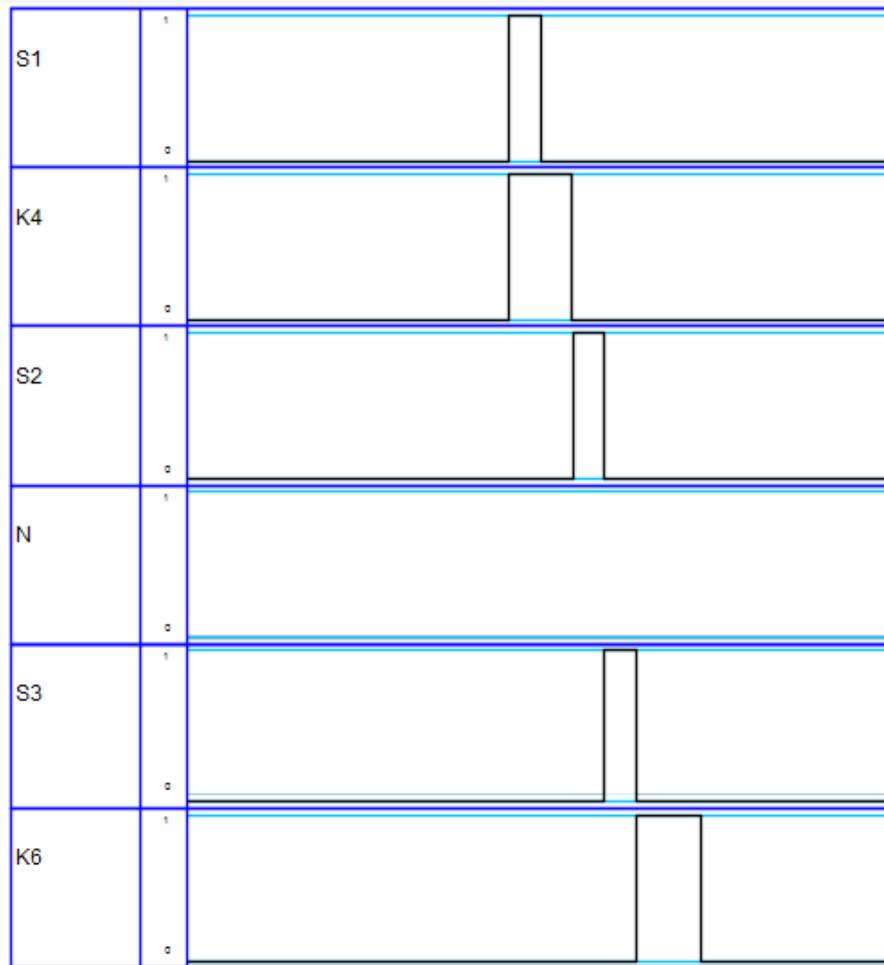


Figura 29-4: Diagrama de señales de mando (Actuador B)

Fuente: Autores

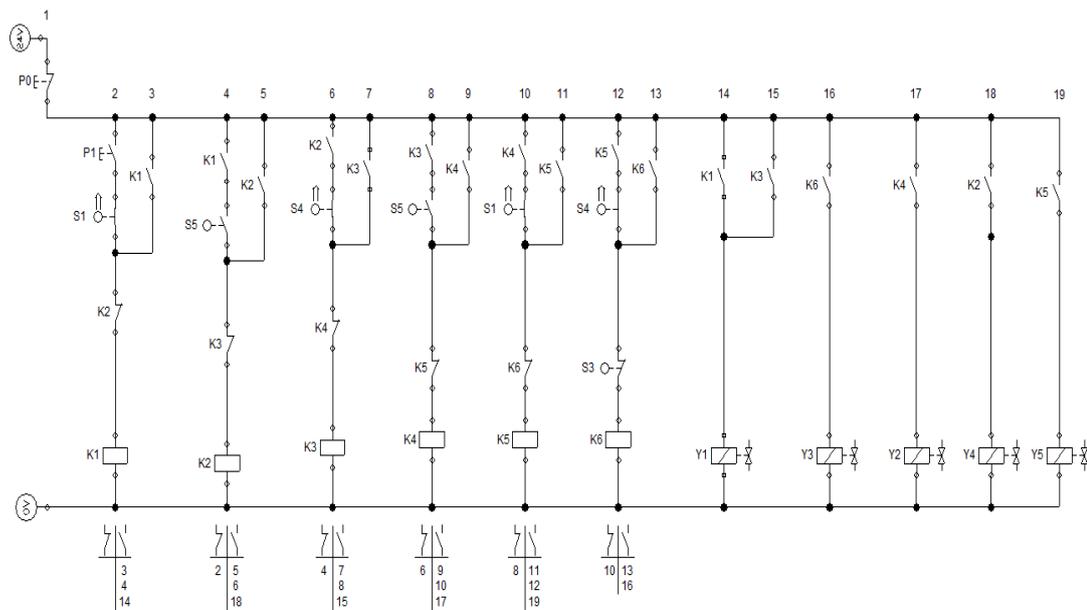


Figura 30-4: Esquema electroneumático

Fuente: Autores

4.5.8.1 Programación de la máquina briquetadora.

- Sistema de control (electrónica)

- ♦ **Arduino MEGA 2560.** – El control de la máquina se lo realiza mediante Arduino MEGA 2560, debido a sus características de tamaño y programación tiene una gran disposición de adaptación a la máquina, el lenguaje de programación es sencillo y la comunicación se lo realiza de una forma sencilla mediante un cable de puerto USB a la computadora.

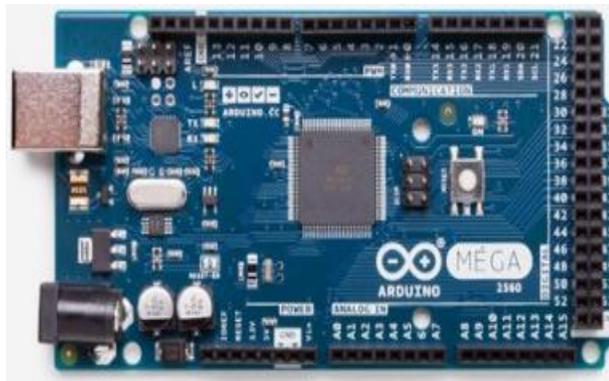


Figura 31-4: Placa Arduino

Fuente: Autores

- ♦ **Relés.** – La máquina contará con un sistema de potencia que mediante el Arduino y un sistema de relés accionaran las electroválvulas que permitan cumplir con el ciclo de compactación.

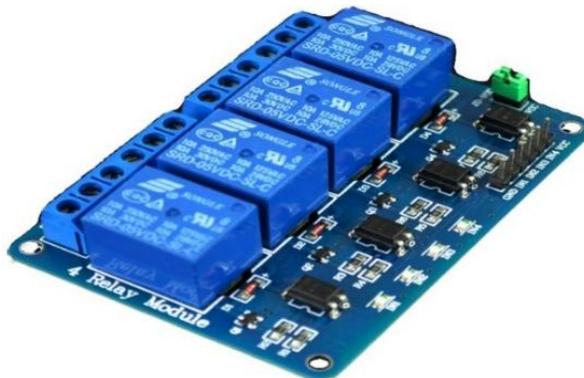


Figura 32-4: Relés

Fuente: Autores

- ♦ **Circuito.** – el circuito consta de un breadboard para la conexión de los pulsadores, un protoboard para la conexión de los sensores y los relés los cuales controlan las electroválvulas.

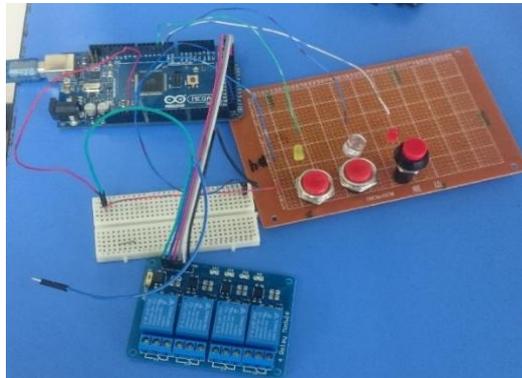


Figura 33-4: Circuito eléctrico máquina briquetadora

Fuente: Autores

- **Programación de la máquina briquetadora.**

constants won't change. Used here to

// set pin numbers:

#define bobina1pin 31 // variable para activar la bobina 1 de la electroválvula 1 del piston neumatico 1

#define bobina2pin 33 // variable para activar la bobina 2 de la electroválvula 1 del piston neumatico 1

#define bobina3pin 35 // variable para activar la bobina 1 de la electroválvula 2 del piston neumatico 2

#define Initpin 4 // variable estatica para designar el boton de inicio

#define Paropin 2 // variable estatica para designar el boton de paro general

#define Posinpin 3 // variable estatica para designar a la posición inicial

#define S1P1 22 // variable para el sensor 1 del piston 1

#define S2P1 24 // variable para el sensor 2 del piston 1

#define S3P1 26 // variable para el sensor 3 del piston 1

#define S4P2 28 // variable para el sensor 4 del piston 2

#define S5P2 30 // variable para el sensor 5 del piston 2

}

void loop() {

//Serial.begin(9600);

```

// Inicio del proceso activa las electrovalvulas para posición inicial
if (comienzo == 0){
    bobinap3 = LOW;
    bobinap2 = HIGH;
    bobinap1 = LOW;
    comienzo = 1;
}
if (S1 == LOW)
    bobinap2 = LOW;

if (parog == LOW){ // Paro esta en bajo
    if (posini == HIGH && S5 == LOW && S1 == LOW)
        flag = 1;
    if (posini == HIGH && S5 == LOW && S3 == LOW){
        bobinap1 = LOW;
        bobinap2 = HIGH;
        flag = 0;
        flag1 = 0;
    }

    if (inicio == HIGH && flag1 == 1)
        flag = 2;

    if (S4 == LOW && S2 == LOW && inicio == HIGH)
        flag = 3;
}

```

4.5.8.2 Pruebas de funcionamiento

La figura 34-4, presenta el funcionamiento de los actuadores neumáticos, verificando el tiempo que tarda en realizar la secuencia neumática establecida en la sección 4.5.8, obteniendo como resultado el correcto funcionamiento de la máquina briquetadora. El mismo que permitirá realizar las briquetas de borra de café.

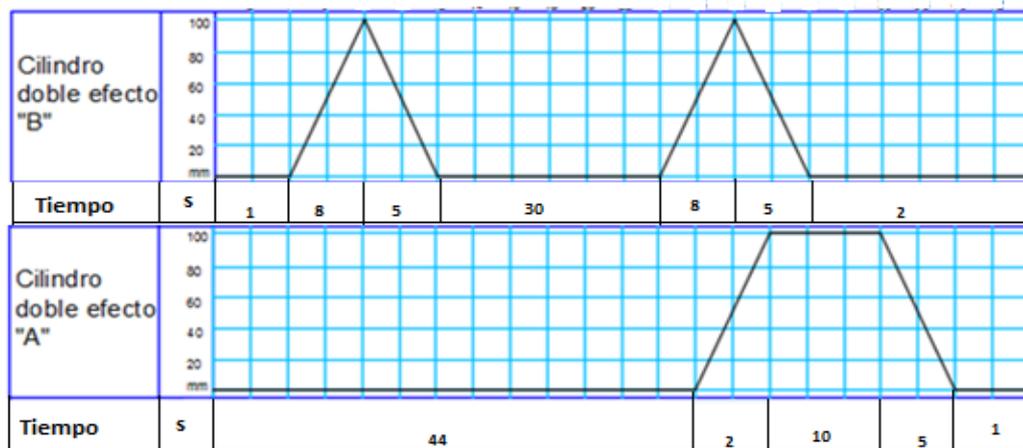


Figura 34-4: Diagrama fase-tiempo

Fuente: Autores

4.6 Costos directos, indirectos y total de la máquina briquetadora de café

Estos costos son aquellos que influyen directamente en la construcción de la máquina briquetadora, así tenemos los materiales, mano de obra, equipos, herramientas y el transporte.

4.6.1 Costos directos.

A continuación, se describe los diferentes materiales que se utilizó para la construcción de la máquina briquetadora.

Tabla 12-3: Costos de materiales en la construcción y funcionamiento de la máquina

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Eje de transmisión Ø 25.4 mm.	0,5[m]	12,5	6,40
Eje de transmisión Ø 47 mm.	0,5[m]	19,2	9,60
Tubo estructural Ø 50 mm	0,70[m]	2,85	2,00
Perfil estructural 40x40x3	9 [m]	4,5	40,5
Perfil estructural 40x3	0,5 [m]	4	2,00
Plancha para soporte [0.35x0.17x8]	1	8	8,00
Plancha para soporte [0.25x0.17x10]	1	9	9,00
Tornillos	8	0,60	4,80
Actuadores neumáticos	2	185,12	370,24
Silenciadores tipo cónico	4	3,5	14,00
Electro válvulas 5/2	1	103,90	103,90
Electro válvulas 5/3	1	155	155,00
Sensores electromagnéticos	5	34,45	172,25
Válvula deslizante	1	33,90	33,90
Conectores 1/2 in	11	6,29	69,19
Reguladores de caudal	4	7,00	28,00
Manguera neumática	8 [m]	2,51	20,08
TEE rápido	1	2,02	2,02

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 12-3 (Continuación): Costos de materiales en la construcción y funcionamiento de la máquina

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Unidad de mantenimiento neumático (FRL)	1	95,51	95,51
Arduino MEGA	1	75	75,00
Cables de conexión	1[m]	2	2,00
Relés	1	8,50	8,50
Pulsadores	3	0,85	2,55
Resistencias	3	0,20	0,60
Leds	3	0,20	0,60
Cables de conexión	3[m]	0,85	2,55
Enchufes	3	0,65	1,95
Subtotal			1 220

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.6.1.1 Costo de mano de obra, equipos y herramientas

Para calcular el coto de la mano de obra se toma en consideración el salario hay para el sector metal mecánica. Además, se describe los costos de los diferentes equipos y herramientas que se utilizó para la construcción de la máquina briquetadora

Tabla 13-4: Costos de equipos y herramientas

Descripción	Costo/hora	Horas de equipo /Cortes	Subtotal
Cortadora por plasma	0,75	9 (Cortes)	6,75
Soldadora de arco	2,5	2,5	6,25
Torno	5,5	2,5	6,25
Cierra manual	0,80	8	6,40
Taladro de pedestal	1,75	10	17,50
Flexómetro	0,8	8	6,40
Calibrador pie de rey	0,9	2,5	2,25
Escuadra	0,85	6	5,10
Amoladora	1,80	10	18
Esmeril	1,2	3	3,60
Herramientas menores	1	20	20
Rectificadores	2,55	3	6,65
Compresor	3,50	3	10,50
Subtotal			155,65

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.6.1.2 Costo por transporte.

El costo por transporte de materiales y de la máquina es de 50 dólares.

4.6.1.3 Total, de costos directos.

Es la sumatoria de todos los costos de materiales, costos de mano de obra, costos de equipos y herramientas y costos de transporte

Tabla 14-4: Total de costos directos

Detalle	Valor
Costo de materiales	1220
Costo de mano de obra	85
Costo de equipos y herramientas	155,65
Costo de transporte	50
TOTAL	1520,65

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.6.2 *Costos indirectos.*

Aquí intervienen los costos ingenieriles como el diseño y supervisión de la máquina envasadora.

Tabla 15-4: Total costos indirectos

Costos ingenieriles	Horas	Costo	Subtotal
Diseño	20	8	160
Supervisión	30	8	240
Subtotal			440

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

4.6.3 *Costo total.*

Es la suma total entre los costos directos e indirectos de la máquina briquetadora.

Tabla 16-4: Costo total de la máquina

Costo directo	1520,65
Costo indirecto	440
Total	1960,65

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA PRIMA, FABRICACIÓN DE BRIQUETAS, Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se determina la cantidad de borra de café, procedente de las cafeterías de la ciudad de Riobamba, para posteriormente la elaboración de las briquetas con el fin de encontrar sus características químicas, energéticas y físicas.

5.1 Determinación de la materia prima en la ciudad de Riobamba.

Para la determinación de la cantidad de materia prima se consultó el catastro de las cafeterías existentes en la ciudad de Riobamba esta información que fue proporcionado por el Ministerio de Turismo de la ciudad (VISITAECUADOR, 2015), con esta nómina se elaboró una encuesta con un total de seis preguntas, realizado para las distintas cafeterías en la ciudad de Riobamba. (Ver Anexo. 2)

El resultado de la encuesta fue que la mayoría de las cafeterías utilizan café molido para su venta las mismas que generan aproximadamente 31,9 lb/día de residuos de café entre todas las cafeterías, cabe recalcar que estas cafeterías están dispuestas a donar los residuos de café con fines investigativos.

Con el resultado mencionado anteriormente se puede realizar una extrapolación semanal, mensual y anual de la cantidad de residuos de café que genera la ciudad de Riobamba, dando así los siguientes resultados:

Tabla 1-5: Resultados de la encuesta

Residuos de café molido	Cantidad	Unidad
Diario	31,9	lb/día
Semanal	191,4	lb/semana
Mensual	765,6	lb/mes
Anual	9 187,2 (4,1672)	lb/año(ton/año)

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

5.2 Proceso de elaboración de las briquetas.

Para la elaboración de las briquetas de borra de café es necesario conocer la composición de la mezcla y la presión a que va a ser sometida la misma para ello es necesario revisar la sección 4.1, dentro de la composición de la mezcla para la elaboración de las briquetas se debe considerar los siguientes parámetros: humedad de la materia prima, porcentaje de aglutinante, cantidad de agua, con estas características se procederá a realizar la elaboración de las briquetas de residuos de café, en la máquina briquetadora para posteriormente proceder a realizar las pruebas necesarias como el cálculo del poder calorífico, contenido de humedad y el ensayo de resistencia mecánica.

5.2.1 Proceso de mezclado.

En el proceso de mezclado se utiliza la borra de café, almidón de yuca y agua, según la norma Técnica Colombiana NTC-2060 establece en su numeral 3.3 sobre condiciones generales que debe cumplir una briketa, hace referencia:

“El aglutinante de las briquetas debe ser un producto que posea características aglomerantes, siempre que no sea tóxico ni produzca gases tóxicos o irritantes durante su combustión en cantidades superiores a las permisibles”. (NTC 2060, 1987)

Para verificar si la mezcla es adecuada se utiliza el ensayo para arenas de fundición, este método establece en añadir a la mezcla la cantidad de agua necesaria para que la misma obtenga una consistencia útil para ser moldeada, una vez que la mezcla este en estado pastoso esta no debe pegarse al recipiente que la contiene, o precipitarse (si esto sucede es que la mezcla está muy húmeda) y no debe disgregarse luego de someterla a una ligera presión con la mano, partirse o abrirse (si esto ocurre es que la mezcla está muy seco), es posible verificar la consistencia de la mezcla mediante la formación una bola y verificar si ésta permanece o si se parte.



Figura 1-5: Mezcla de borra de café con aglutinante y agua

Fuente: Autores



Figura 2-5: Formación de una bola

Fuente: Autores

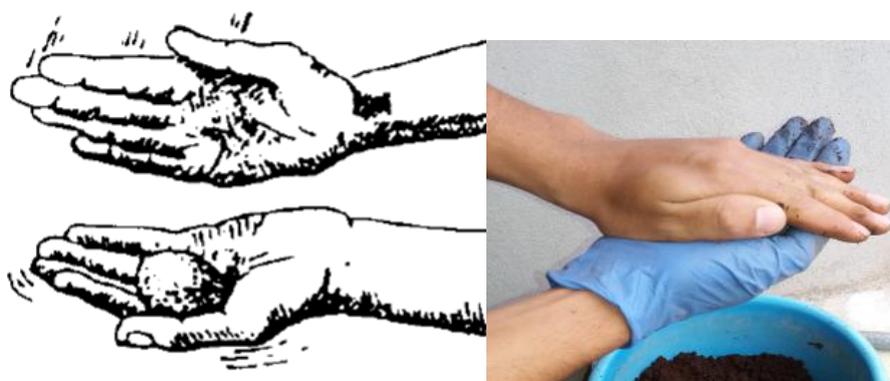


Figura 3-5: Verificación de la consistencia

Fuente: Autores

5.3 Resultados de la briqueta de borra de café

Una vez realizada la mezcla se procede a la compactación en la máquina briquetadora obteniendo así las briquetas de borra de café las mismas que presentan características físicas, energéticas y químicas.



Figura 4-5: Briquetas obtenidas en la maquina briquetadora

Fuente: Autores

5.3.1 Características físicas

- **Forma y tamaño.** - Su forma es cilíndrica y las dimensiones geométricas son: altura (h)= 50 mm y diámetro (D)= 47 mm.

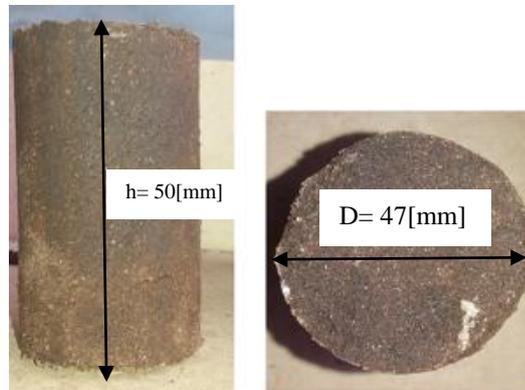
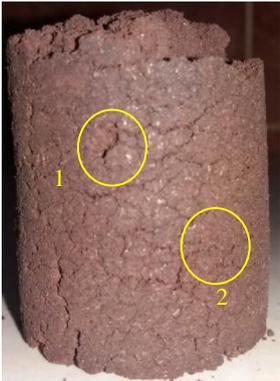


Figura 5-5: Dimensiones de la briqueta de borra de café

Fuente: Autores

- **Aspecto.** - Se habla de la apariencia exterior e interior y de su color. La superficie exterior es rugosa, presenta pequeñas grietas y la superficie interior presenta pequeñas masas globulares por la adherencia del almidón de yuca al residuo de café, su color es café marrón.

Tabla 2-5: Caracterización física-aspecto

Apariencia superficial	Apariencia interior	Color
 <p>1.- Grietas 2.- Superficie rugosa</p>	 <p>1.- Pequeñas cantidades de almidón de yuca 2.- Masa globulares</p>	Café marrón

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

- **Resistencia mecánica o aplastamiento.** - Según la norma NTC-2060 en el numeral 4.2.1 muestra el requerimiento de resistencia al aplastamiento que debe tener una

briqueta este ensayo se debe realizar de acuerdo a los requerimientos establecidos en el numeral 6.7 de la norma NTC-2016.

Tabla 3-5: Requisitos de resistencia al aplastamiento

Masa de cada briqueta en g/briqueta	Rm, mínimo en N (kgf)
60 o más	784,31 (80)
40	588,23 (60)
30	490,19 (50)
20	392,15 (40)

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (NORMA TECNICA COLOMBIANA, 1987)

Para este ensayo se emplea de 50 a 100 briquetas de la misma masa y se calcula el promedio ponderado de la carga de aplastamiento (R_m), el valor obtenido debe corresponder con lo indicado en la Tabla 3-5. El 90 % de las briquetas deben tener una resistencia individual mayor de $0,75 R_m$. (NTC-2060)

Este ensayo fue realizado en el laboratorio de resistencia de materiales en la facultad de mecánica de la ESPOCH en la cual se ensayaron 20 briquetas ya que es el número mínimo recomendado para un diseño experimental.



Figura 6-5: Máquina universal para ensayos

Fuente: Autores

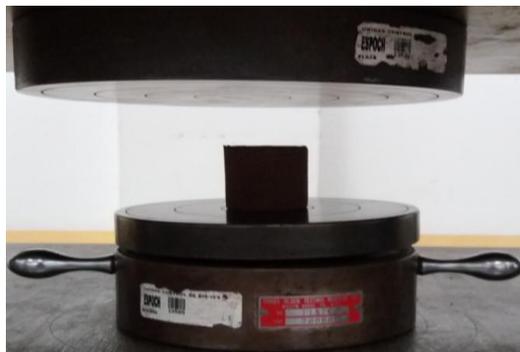


Figura 7-5: Ubicación de la briqueta en la máquina universal

Fuente: Autores



Figura 8-5: Aplicación de carga a la briqueta

Fuente: Autores



Figura 9-5: Briqueta de borra de café después del ensayo

Fuente: Autores

Tabla 4-5: Resistencia al aplastamiento de las briquetas

Número de briquetas	Peso (g/briqueta)	Carga al aplastamiento kgf (N)	Altura de las briquetas[mm]
20,00	40,00	24,24 (237,74)	50,00

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Verificando los valores de resistencia al aplastamiento de la Tabla 6-5 para 40 g/briqueta se tiene $R_m = 60 \text{ kgf}$, como el 90% de las briquetas deben tener una resistencia individual mayor de $0,75 R_m$, y al comparar con los valores obtenidos en la Tabla 6-5 se observa que las briquetas no cumplen con este requisito.

- **Densidad.** - Las briquetas de borra de café presentan una densidad de 461,36 kg/m³

Para determinar la densidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$\rho = \text{Densidad [kg/m}^3\text{]}$

$m = \text{Masa de la briketa de borra de café [kg]}$

$V = \text{Volumen de la briketa de borra de café [m}^3\text{]}$

Calculo del volumen de la briketa

La briketa tiene forma de un cilindro macizo para la cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} = \frac{\pi (0,047 \text{ m})^2 (0,05 \text{ m})}{4} = 8,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Calculo de la densidad de la briketa de borra de café

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,04 \text{ kg}}{8,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = 461,36 \text{ kg/m}^3$$

5.3.2 Características energéticas

- **Poder calorífico.** - El poder calorífico nos permite saber que muy útil resulta ser una sustancia al momento de generar energía, para el cálculo del poder calorífico es necesario utilizar la bomba calorimétrica este cálculo se realiza en el DEPARTAMENTO DE PETROLEOS, ENERGIA Y CONTAMINACIÓN (DPEC) pertenecientes a la Universidad Central del Ecuador, el mismo que otorga los siguientes resultados que se muestra en la siguiente tabla 2-5. (Ver Anexo. 3)

Tabla 5-5: Resultado del poder calorífico de la briketa de borra de café

Determinación	Resultado	Unidad
Poder calorífico bruto	17,21	MJ/kg

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, 2017)

Además, el cálculo del poder calorífico se realiza mediante la ecuación de la energía de alimentos para lo cual se debe realizar un análisis bromatológico, para este análisis se deben

definir algunos parámetros químicos de la muestra de las briquetas de borra de café como son el porcentaje de fibra, proteína, grasas, carbohidratos totales, humedad y cenizas este análisis se realizó en el Laboratorio del CESTTA en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. (Ver Anexo.4)

Tabla 6-5: Resultado del análisis bromatológico de una briketa de borra de café con almidón de yuca

PARÁMETRO	RESULTADO
Proteína [%]	12,56
Humedad [%]	9,12
Cenizas [%]	1,76
Fibra [%]	17,37
Grasas [%]	12,89

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CESTTA, 2017)

Según el DECAP (Departamento de Ciencia de los Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional), para calcular los carbohidratos totales se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Carbohidratos totales} = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Grasas} + \% \text{Cenizas}) \quad \text{Ec. (6)}$$

- **Cálculo de los carbohidratos totales**

$$\text{Carbohidratos totales} = 100 - (9,12 + 12,56 + 12,89 + 1,76)$$

$$\text{Carbohidratos totales} = 63,67 \%$$

El cálculo del poder calorífico se lo hace mediante la siguiente ecuación de la energía de alimentos: (ENERGIZA, 2015)

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{Kcal}}{100\text{g}} \right) = A + B + C \quad \text{Ec. (7)}$$

$$A = (4 \text{ Kcal}) * (\% \text{ Carbohidratos totales})$$

$$B = (9 \text{ Kcal}) * (\% \text{ Grasas})$$

$$C = (4 \text{ Kcal}) * (\% \text{ Proteína})$$

- **Cálculo del poder calorífico teórico**

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{Kcal}}{100\text{g}} \right) = 4\text{kcal} * (63,67) + 9\text{Kcal} * (12,89) + 4\text{kcal} * (12,56)$$

$$\text{Poder calorífico} = \frac{420,93 \text{Kcal} * 1\,000 \text{g}}{100\text{g} * 1\text{KG}} = 4\,209,3 \text{Kcal/Kg}$$

$$\text{Poder calorífico} = 17,62 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

Error porcentual entre el valor del poder calorífico obtenido experimentalmente y el valor del poder calorífico teórico.

$$\% \text{ error} = \frac{|\text{teórico} - \text{experimental}|}{\text{teórico}} * 100$$

$$\% \text{ error} = \frac{|17,62 - 17,21|}{17,62} * 100$$

$$\% \text{ error} = 2,33$$

El error que presenta los cálculos obtenidos experimentalmente y teóricamente es de 2,33 %, error que se obtiene porque son dos procedimientos distintos.

5.3.3 Características químicas

- **Contenido de humedad.**- Se debe recordar que existe varios rangos de humedad para las briquetas entre ella tenemos a la (NTC-2060, 1987) que establece que la humedad de las briquetas es del 2.5% mientras que (Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, 2012) establece que la humedad oscila entre 15-20%., además cabe recalcar que según (CAMPS et al, 2008) menciona la humedad en un rango de 8-12% y por ultimo (RODRIGUEZ et al, 2010) establece un rango de humedad entre el 8-15%. Conociendo todos estos rangos de humedad y mediante el análisis bromatológico de la tabla 6-5 se obtiene el resultado de humedad de la briqueta de borra de café de 9.12% el mismo que está dentro del rango según (CAMPS et al, 2008) (RODRIGUEZ et al, 2010)
- **Contenido de cenizas.** - El resultado del contenido cenizas es 1,76% (CESTTA, 2017) de acuerdo al análisis bromatológico este resultado es beneficioso de acuerdo a la sección 2.1.6 en que menciona que el contenido de cenizas debe ser inferior al 4%, ya si sobre pasa puede causar corrosión a los quemadores.

Las características mencionadas y calculadas forman parte de la caracterización de la biomasa que según Sonia Rincón perteneciente al Grupo de Investigación en Biomasa y Optimización

Térmica de Procesos – BIOT, establece que para la caracterización de la biomasa se debe realizar la caracterización química, energética y física, y por ser la briqueta de borra de café procedente de biomasa se encuentra dentro de esta caracterización.

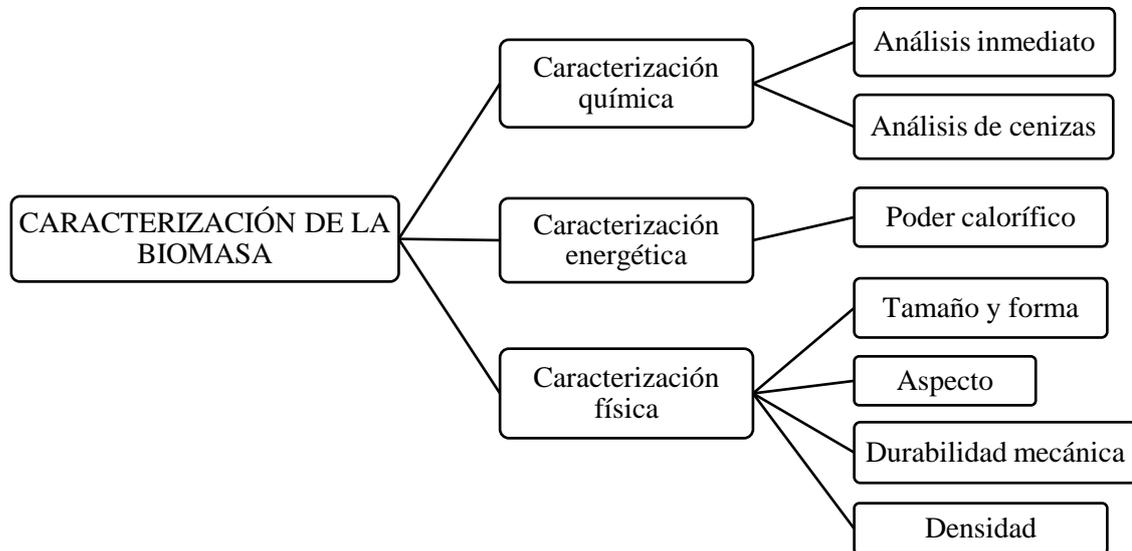


Figura 10-5: Caracterización de la biomasa

Fuente: (RINCON S., 2014)

5.4 Comparación del poder calorífico de la briqueta de borra de café con otros biocombustibles solidos

En la tabla 7-5, se puede observar los distinto PCS de los biocombustibles más utilizados en la industria, los mismos que ayudaran con la comparación de nuestro biocombustible

Tabla 7-5: Resultado de combustibles y biocombustibles más utilizados

Combustible	PCS MJ/kg
Carbón vegetal	32,8
Corteza de pino	20,4
Tallos de café	19,75
Bagazo seco	19,2
Residuo de maíz	18,4
Briquetas de aserrín	17,52
Papel	17,5
Briquetas de borra de café	17,21

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CABRAL DE SOUSA et al, 2012), (GANDUGLIA et al, 2009), (DE LUCAS et al, 2012) , (FONSECA et al, 2011)

Tabla 7-5 (Continuación): Resultado de combustibles y biocombustibles más utilizados

Combustible	PCS MJ/kg
Cascarilla de arroz	17
Cáscara de trigo	15,8
Briquetas de cascarilla de arroz	15,3
Paja seca de trigo	13,4
Viruta seca	13,4
Cortezas de caña	12,5
Serrín húmedo	8,40

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: (CABRAL DE SOUSA et al, 2012), (GANDUGLIA et al, 2009),
(DE LUCAS et al, 2012) , (FONSECA et al, 2011)

La briqueta de borra de café se encuentra dentro de un rango moderado de los biocombustibles sólidos, por lo tanto, puede ser un sustituto del carbón vegetal y de otros biocombustibles

5.5 Ensayo de incineración de las briquetas y el carbón vegetal.

Para la prueba de incineración se ensaya varias muestras de briquetas de café y también carbón vegetal para estas pruebas se considera que cada muestra debe tener un peso de 0,5 lb, 1 lb, 1,5 lb, las mismas que son colocadas en un asadero y posteriormente se procede a su encendido y toma de temperaturas cada 5 minutos esto se realiza mediante la utilización de un pirómetro, después se realiza el mismo procedimiento con el carbón vegetal, para luego realizar la comparación respectiva.

5.5.1 Ensayos de incineración de las briquetas de borra de café



Figura 11-5: Muestra de briquetas de borra de café

Fuente: Autores



Figura 12-5: Colocación de las briquetas en el asadero

Fuente: Autores



Figura 13-5: Encendido de las briquetas

Fuente: Autores



Figura 14-5: Formación de carbón de las briquetas

Fuente: Autores



Figura 15-5: Residuos después de la incineración de las briquetas

Fuente: Autores

A continuación, se presenta los datos obtenidos de las pruebas de incineración de las briquetas a 0,5 lb, 1 lb y 1,5 lb, como también las curvas obtenidas en esta prueba.

En la Tabla 8-5 se muestra los datos de tiempo y de temperatura de las briquetas encendidas y posteriormente se realiza la gráfica respectiva para ver su comportamiento en función del tiempo que transcurre al quemarse.

Tabla 8-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (0,5 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom.
5	524,2	449,6	524,9	498,6	456,6	490,8
10	594,7	460,5	480,5	378,5	456,8	474,2
15	498,3	513,4	448,1	451,8	455,5	473,4
20	495,3	489,7	464,4	441,9	448,6	468,0
25	488,8	488,2	371,3	413,5	465,6	445,5
30	420,3	445,6	389,3	417,1	442,8	423,0
35	425,3	476,4	407,2	412,3	435,9	431,4

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

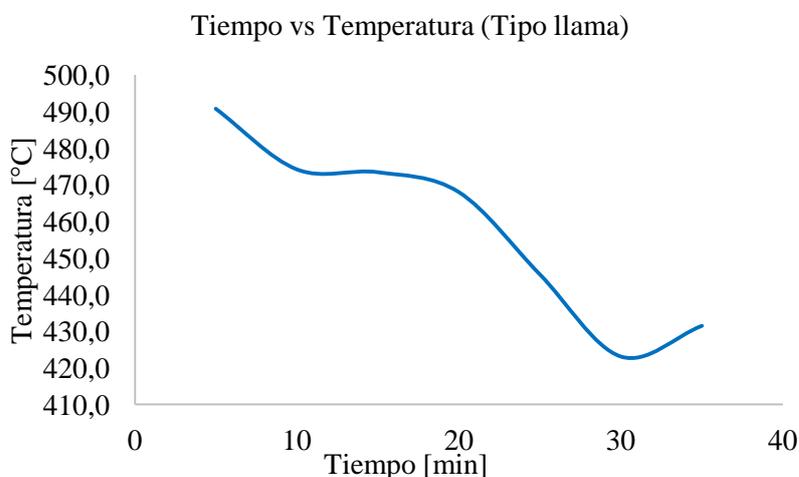


Gráfico 1-5: Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (0,5 lb)

Fuente: Autores

Tabla 9-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (1 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	Prom.
5	505,1	434,7	388,9	494,6	429,9	468,8	508,8	461,5
10	528,3	424,4	497,4	506,6	432,7	417,5	410	459,6
15	418,7	547,3	486,7	460,6	480,7	426,7	330	450,1
20	418,1	497,1	513,2	510	439,6	492,4	442	473,2
25	524,2	449,6	524,9	390,1	392,7	470,6	498,6	464,4
30	498,3	513,4	448,1	451,8	455,5	455,6	413,6	462,3
35	469,3	475,9	416,3	407,5	425,5	428,3	457,8	440,1
40	436,6	459,1	397,4	389,2	398,3	401,5	431,2	416,2
45	387,7	420,6	367,2	315,8	339,7	316,2	398,8	363,7

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

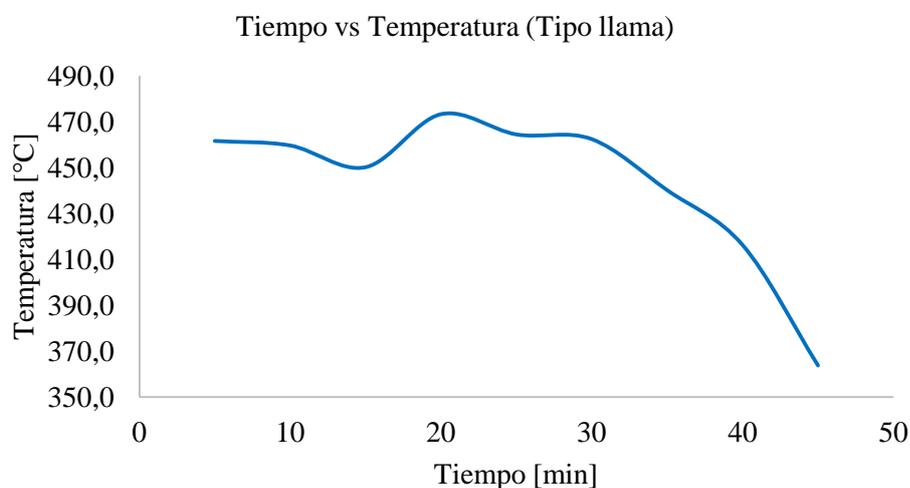


Gráfico 2-5: Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (1 lb)

Fuente: Autores

Tabla 10-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (1,5 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom.
5	551,6	514,6	572,6	528,3	537,6	572,1	546,1
10	518,8	502,5	559,2	532,1	512,4	535,7	526,8
15	581,3	582,5	489,5	457,9	579,6	512,6	533,9
20	498,9	540,4	426,1	539,9	532,9	507,4	507,6
25	486,1	526,5	472,4	488,2	457,2	468,9	483,2
30	505,1	434,7	388,9	508,8	429,9	468,8	456,0
35	410	424,4	497,4	506,6	432,7	417,5	448,1
40	418,7	394,5	486,7	460,6	480,7	426,7	444,7
45	418,1	457,1	436,7	392,7	429,6	412,4	424,4
50	378,8	405,9	425,4	390,1	452,1	470,6	420,5

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 10-5(Continuación): Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo llama (1,5 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom.
55	368,3	513,4	387,1	401,8	372,5	455,6	416,5
60	409,3	475,9	416,3	407,5	425,5	428,3	427,1
65	436,6	459,1	397,4	389,2	398,3	401,5	413,7
70	486,8	532,6	458,6	466,8	432,6	450,2	471,3

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

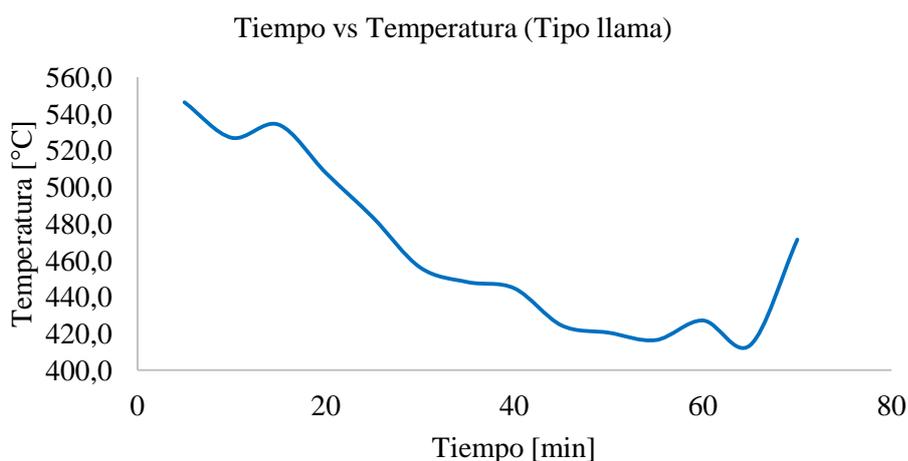


Gráfico 3-5: Curva de Tiempo vs Temperatura encendido tipo llama (1,5 lb)

Fuente: Autores

Se muestra los datos de tiempo y de temperatura de las briquetas ensayadas a 0,5 lb, 1 lb, 1,5 lb encendidas tipo brasa y después se realiza la gráfica respectiva para ver su comportamiento en función del tiempo.

Tabla 11-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (0,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom.
0	425,3	476,4	407,2	412,3	435,9	431,4
5	419,5	489,4	429,9	475,8	403,8	443,7
10	419,6	469,3	429,3	375,8	406,7	420,1
15	423,9	450,4	386,3	400,4	379,3	408,1
20	415,9	386,1	354,6	371,7	398,8	385,4
25	369,2	393,2	339,3	394,2	379,7	375,1
30	386,4	401,8	368,6	378,2	387,6	384,5
35	416	432,3	372,5	398,5	406,7	405,2
40	432,4	399,5	451,7	441,5	429,7	431,0

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 11-5(Continuación): Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa
(0,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom.
45	442,6	493,6	421,7	411,6	448,1	443,5
50	448,4	501,5	456,2	461,6	498,1	473,2
55	557,7	542,4	469,8	415,7	515,7	500,3
60	512,6	461,8	548,6	448,1	513,6	496,9
65	429,3	424,2	476,7	487,1	463,1	456,1
70	408,4	312,7	398,5	325,6	421,3	373,3
75	285,5	353,6	414,5	350,6	303,3	341,5
80	174,7	223,4	365,1	276,9	254,2	258,9
85	95,2	194,6	287,1	194,1	133,9	181,0
90	34,6	107,4	195,4	105,6	78,2	104,2
95	14,3	54,2	98,3	65,2	45,9	55,6

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

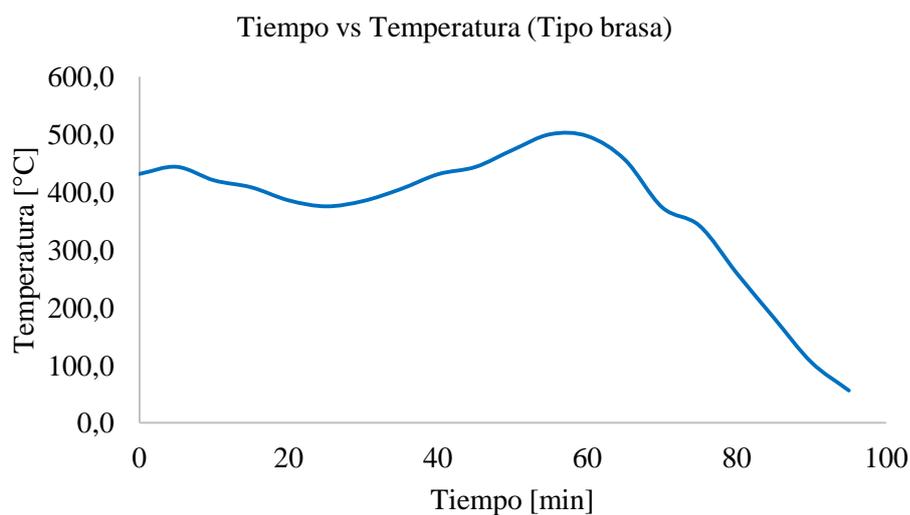


Gráfico 4-5: Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (0,5 lb)

Fuente: Autores

Tabla 12-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (1 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	Prom.
0	498,3	513,4	448,1	451,8	455,5	455,6	413,6	462,3
5	403,8	487,8	427,8	481,4	490,1	494	488,1	467,6
10	497,4	492,1	454,9	475,1	465,6	472,7	478,1	476,6
15	492,5	462,8	424,9	480,8	425,1	469,8	434,2	455,7
20	438,4	449,3	446,7	432,7	464,9	498,3	420,8	450,2
25	459,1	418,2	429,5	439,6	480,2	464,8	472,3	452,0
30	467,9	443,9	496,8	431,7	452,8	509,2	476,7	468,4

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 12-5(Continuación): Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (1 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	Prom.
35	561,4	467,8	437,2	488,6	508,4	512,1	545,6	503,0
40	582,3	511,6	527,6	475,3	498,3	504,5	502,6	514,6
45	518,3	461,9	492,2	548,2	533,6	514,6	515,8	512,1
50	475,8	447,8	519,8	436,1	558,6	567,1	534,9	505,7
55	462,8	561,2	493,8	427,6	548,6	482,6	509,2	498,0
60	460,8	410,2	589,3	453,7	494,3	463,4	467,4	477,0
65	452,8	386	522,5	453,1	528,3	451,2	436,3	461,5
70	462,8	365	452,7	428,9	560,3	428,1	449,6	449,6
75	423,6	381,5	414,1	392,6	486,6	439,8	438,6	425,3
80	448,4	367,7	401,5	348,7	373,3	493,4	419,2	407,5
85	408,8	325,6	390,2	347,4	412,9	405,1	456,6	392,4
90	408,4	312,7	378,5	365,6	471,3	355,4	359,1	378,7
95	356,3	335,6	428,6	412,3	401,5	310,3	356,8	371,6
100	366,6	378,9	420,15	380,2	340,3	366,8	346,6	371,4
105	310,3	356,8	420,7	335,4	360,4	386,8	336,6	358,1
110	285,5	353,6	414,5	350,6	303,3	349,1	279,6	333,7
115	174,7	223,4	365,1	276,9	254,2	271,4	249,4	259,3
120	95,2	194,6	287,1	194,1	133,9	154,1	178,1	176,7
125	34,6	107,4	195,4	105,6	78,2	95,6	115,6	104,6
130	14,3	54,2	98,3	65,2	45,9	65,2	65,2	58,3

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

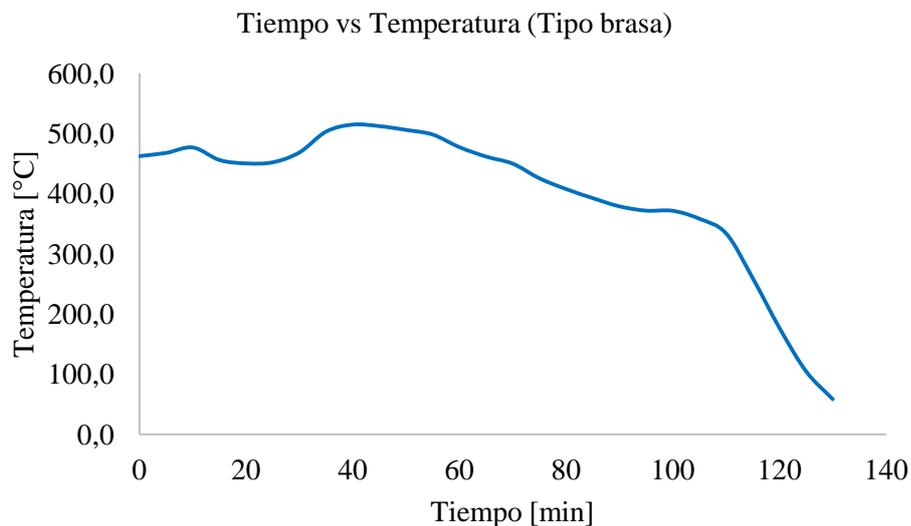


Gráfico 5-5: Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (1 lb)

Fuente: Autores

Tabla 13-5: Tiempos y temperaturas de las briquetas encendido tipo brasa (1,5 lb)

Tiempo[min]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom
0	486,8	532,6	458,6	466,8	432,6	450,2	471,3
5	493,9	506,7	428,1	413,4	455,8	471,8	461,6
10	397,9	459,4	478,6	455,1	434,6	162,1	398,0
15	349,9	434,7	425,2	436,7	452,3	405,7	417,4
20	425,5	460,3	510,2	432,9	493,3	467,2	464,9
25	412,7	479,2	502,5	527,4	559,5	498,2	496,6
30	484,7	501,6	517,6	566,6	587,4	530,2	531,4
35	527,5	508,1	534,4	523,9	569,5	547,1	535,1
40	554,7	545,2	574,7	529,4	571,3	577,2	558,8
45	574,2	504,4	563,3	529,5	508,2	507,3	531,2
50	534,6	473,1	532,2	520,7	503,4	488,4	508,7
55	446,7	436,1	526,4	472,5	492,7	468,5	473,8
60	421,4	399,9	494,7	478,2	473,6	428,6	449,4
65	452,5	338,7	458,8	396,4	491,1	427,3	427,5
70	386,6	358,9	479,6	413,5	449,7	412,5	416,8
75	328,8	363,2	419,9	464,6	405,2	402,6	397,4
80	386,3	335,6	428,6	412,3	401,5	390,1	392,4
85	369,2	393,2	389,3	394,2	379,7	355,6	380,2
90	408,4	312,7	423,2	325,6	421,3	385,4	379,4
95	310,3	396,8	405,7	385,4	360,4	386,8	374,2
100	343,8	358,3	371,4	371,4	427,2	336	368,0
105	315,4	334,9	359,6	364,3	354,6	318,4	341,2
110	295,3	291,5	331,9	342,1	346,1	334,8	323,6
115	254,8	265,3	287,3	302,4	398,5	310,8	303,2
120	235,2	242,8	254,6	278,4	376,8	294,3	280,4
125	225,7	221,9	220,7	259,6	352,7	263,4	257,3
130	205,8	210,5	190,4	237,3	312,8	237,2	232,3
135	196,2	208,5	150,5	225,7	283,7	187,6	208,7
140	124,8	181,5	128,6	187,5	284,4	167,3	179,0
145	95,2	194,6	98,6	194,1	133,9	154,1	145,1
150	34,6	107,4	195,4	105,6	78,2	95,6	102,8
155	14,3	54,2	98,3	65,2	45,9	65,2	57,2

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

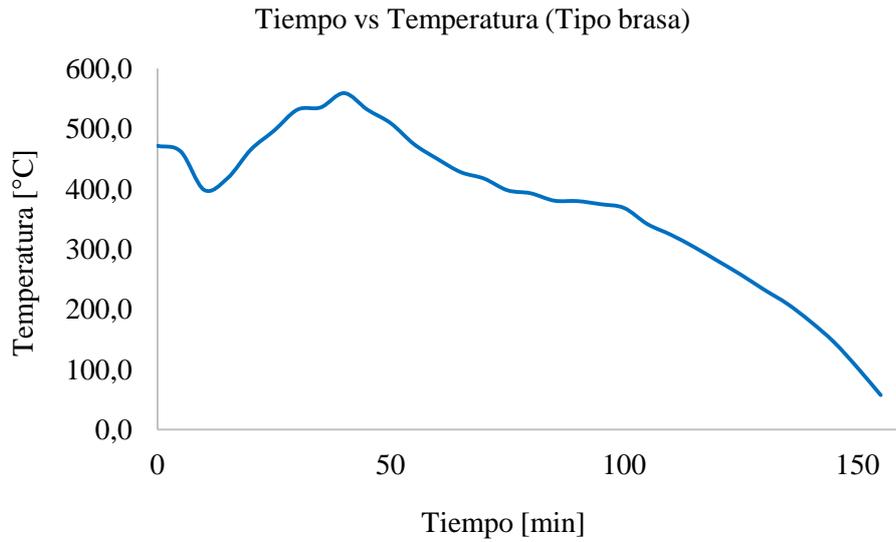


Gráfico 6-6: Curva Tiempo vs Temperatura encendido tipo brasa (1,5 lb)

Fuente: Autores

5.5.2 *Ensayos de incineración del carbón vegetal*

A continuación, se muestra los datos de tiempo y de temperatura del carbón vegetal de las muestras a 0,5 lb, 1 lb y 1,5 lb los cuales nos ayudará a identificar el comportamiento de la temperatura en función del tiempo y posteriormente se realiza las gráficas en tipo llama y brasa.



Figura 16-5: Muestra de carbón vegetal

Fuente: Autores



Figura 17-5: Encendido del carbón vegetal

Fuente: Autores



Figura 18-5: Residuos después de la incineración del carbón vegetal

Fuente: Autores

En la Tabla 15-5, se muestra los datos de tiempo y de temperatura del carbón vegetal encendido tipo llama y posteriormente se realiza la gráfica respectiva para ver su comportamiento mientras transcurre el tiempo.

Tabla 14-5: Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (0,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom.
1	774	763,1	712,1	764,2	740,6	750,8
2	752,8	722,4	686,2	761,2	652,2	715,0
3	724,6	710,3	709,6	706,1	674,5	705,0
4	769,8	646,9	652,3	673,8	604,3	669,4
5	608,1	661,7	615,3	668,4	642,3	639,2

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

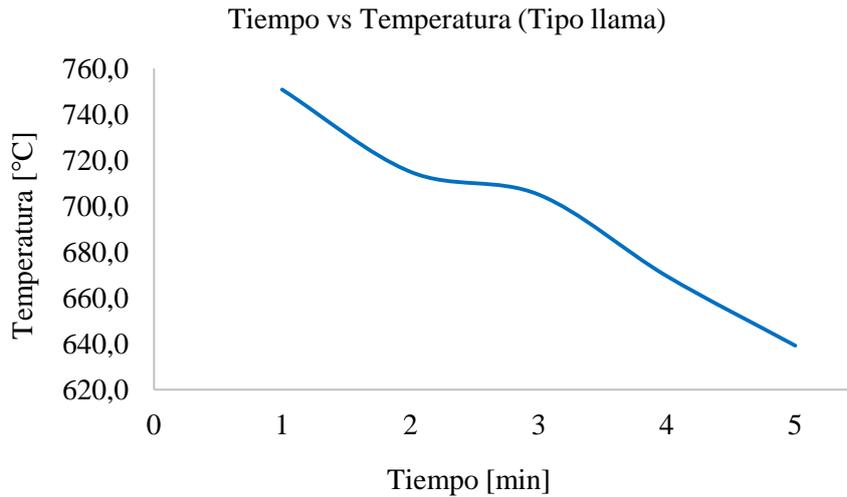


Gráfico 7-5: Curva vs Temperatura del carbón encendido tipo llama (0,5 lb)

Fuente: Autores

Tabla 15-5: Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (1 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	Prom.
2	734	763,1	612,1	764,2	740,6	633,1	732,8	711,4
4	762,8	722,4	686,2	761,2	652,2	661,2	728,2	710,6
6	724,6	730,3	709,6	706,1	674,5	643,8	730,8	702,8
8	869,8	646,9	652,3	673,8	604,3	597,4	692,1	676,7
10	608,1	561,7	615,3	668,4	542,3	540,2	590,4	589,5

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

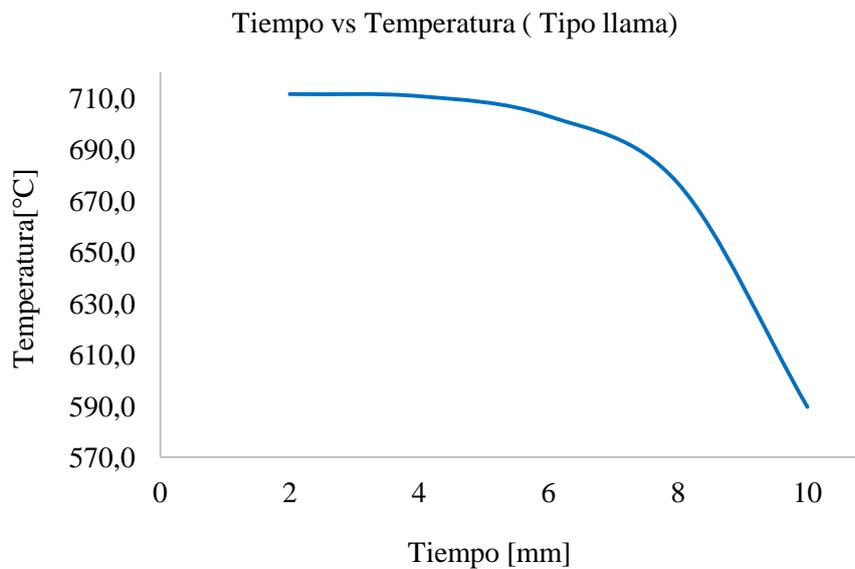


Gráfico 8-5: Curva Tiempo vs Temperatura del carbón encendido tipo llama (1 lb)

Fuente: Autores

Tabla 16-5: Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo llama (1,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom.
2	784,5	765,2	745,3	761,5	784,1	723,2	760,6
4	764,7	763,1	682,1	764,2	740,6	633,1	724,6
6	752,8	722,4	786,2	761,2	652,2	641,2	719,3
8	724,6	730,3	709,6	706,1	674,5	643,8	698,2
10	684,6	646,9	652,3	673,8	561,7	597,4	636,1
12	608,1	621,7	615,3	668,4	542,3	540,2	599,3
14	584,3	523,8	586,4	601,8	534,1	412,6	540,5

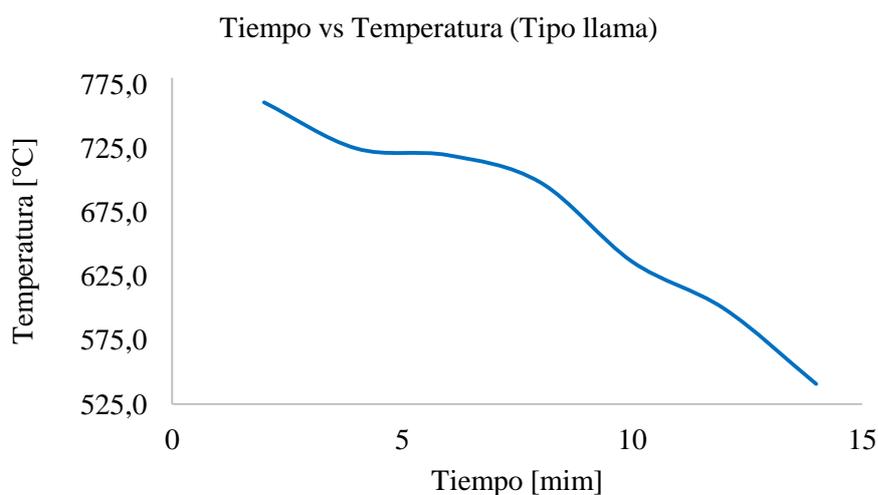


Gráfico 9-5: Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo llama (1,5 lb)

Fuente: Autores

Se muestra los datos de tiempo y de temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa de las muestras previamente establecidas y después se realiza la gráfica respectiva.

Tabla 17-5: Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (0,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom
0	608,1	661,7	615,3	668,4	642,3	639,2
5	534,2	593,2	595,5	587,8	583,3	578,8
10	487,6	480,7	556,1	540,9	539,1	520,9
15	451,9	464,9	509,1	541,2	453,4	484,1
20	539,5	385,7	471,9	423,9	438,3	451,9
25	471,6	345,8	451,7	430,9	459,8	432,0
30	442,5	328,7	418,8	396,4	491,1	415,5
35	407,3	431,7	383,9	295,6	392,1	382,1
40	386,8	413,7	344,2	226,7	431,2	360,5

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 17-5 (Continuación): Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (0,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	Prom
45	357,9	388,3	297,3	228,6	443,2	343,1
50	336,9	365,4	268,2	278,5	455,7	340,9
55	343,6	312,8	233,2	240,5	432,6	312,5
60	286,1	304,6	219,4	275,2	342,4	285,5
65	258,8	372,9	192,1	193,5	291,1	261,7
70	225,6	285,4	155,2	171,1	221,3	211,7
75	187,6	253,9	128,1	133,5	254,1	191,4
80	144,3	216,5	102,2	107,3	210,1	156,1
85	104,1	189,6	84,5	79,6	185,2	128,6
90	83,2	99,6	61,5	59,6	155,2	91,8
95	73,2	63,2	47,6	41,4	121,6	69,4
100	45,2	56,2	23,1	31,8	102,2	51,7
105	32,8	35,9	21,9	22,4	82,1	39,0
110	26,7	181,6	8,5	15,4	35,1	53,5
115	12,5	13,6	9,3	8,4	19,1	12,6

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

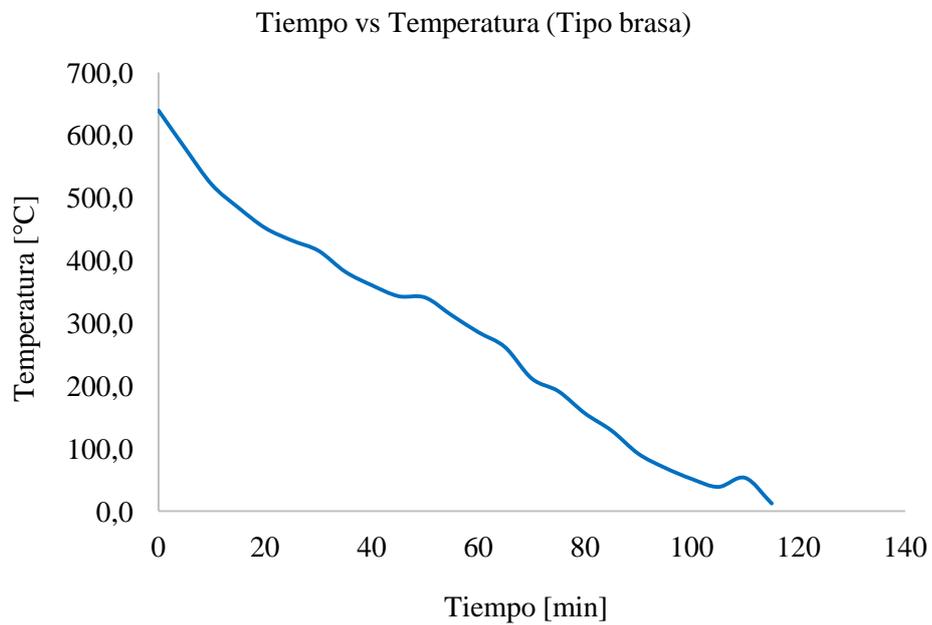


Gráfico 10-5: Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (0,5 lb)

Fuente: Autores

Tabla 18-5: Tiempos y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (1 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	Prom.
0	608,1	561,7	615,3	668,4	542,3	540,2	590,4	589,5
5	584,3	523,8	586,4	601,8	534,1	412,6	578,9	546,0
10	523,5	557,7	542,4	569,8	505,7	515,7	556,3	538,7
15	618,1	464,9	509,1	521,2	502,3	491,8	577,8	526,5
20	474,2	485,7	551,9	423,9	543,3	562,1	585,1	518,0
25	454,2	493,2	585,5	497,8	543,3	482,1	537,2	513,3
30	487,6	460,1	656,1	490,9	420,1	483,4	559,1	508,2
35	474,2	485,7	471,9	423,9	543,3	562,1	487,8	492,7
40	510,6	475,8	451,7	430,9	420,1	483,4	465,2	462,5
45	481,9	428,7	418,8	494,7	458,2	463,6	456,8	457,5
50	503,5	391,7	393,9	448,8	496,4	431,1	423,8	441,3
55	421,9	404,9	459,1	541,2	453,4	338,9	440,1	437,1
60	523,5	355,7	341,9	423,9	438,3	365,8	441,8	413,0
65	471,6	295,8	341,7	430,9	459,8	333,6	467,7	400,2
70	452,5	208,7	308,8	396,4	491,1	427,3	464,7	392,8
75	367,3	431,7	353,9	295,6	392,1	419,6	240,3	357,2
80	376,8	443,7	244,2	296,7	463,2	449,7	240,3	359,2
85	347,9	378,3	247,3	228,6	443,2	327,6	222,6	313,6
90	316,9	315,4	238,2	278,5	455,7	396,5	220,8	317,4
95	373,6	250,8	293,2	250,5	432,6	368,8	224,5	313,4
100	296,1	304,6	249,4	280	342,4	345,7	210,6	289,8
105	238,8	232,9	201,1	193,5	291,1	320,8	174,4	236,1
110	215,6	188,4	185,2	171,1	221,3	255,3	150,1	198,1
115	137,6	124,9	148,1	133,5	254,1	244,5	145,4	169,7
120	104,3	120,5	102,2	107,3	210,1	104,4	111,2	122,9
125	94,1	89,6	81,5	79,6	185,2	165,2	92,6	112,5
130	83,2	89,6	81,5	79,6	185,2	165,2	92,6	111,0
135	83,2	70,2	67,6	41,4	150,6	123,9	82,4	88,5
140	55,2	56,2	33,1	31,8	130,2	103,4	58,6	66,9
145	39,8	45,9	26,9	22,4	88,1	74,9	43,8	48,8
150	26,7	21,6	18,5	15,4	65,1	81,5	32,1	37,3
155	15,5	13,6	10,3	8,4	34,1	54,3	12,4	21,2

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

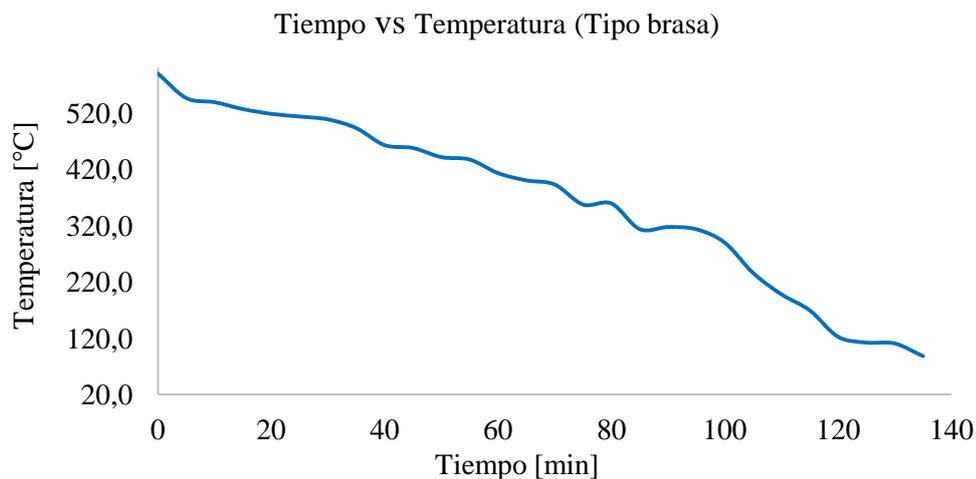


Gráfico 11-5: Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (1 lb)

Fuente: Autores

Tabla 19-5: Tiempo y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (1,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom
0	584,3	523,8	586,4	601,8	534,1	412,6	540,5
5	523,5	557,7	542,4	569,8	505,7	515,7	535,8
10	618,1	464,9	509,1	521,2	502,3	491,8	517,9
15	474,2	485,7	471,9	423,9	543,3	562,1	493,5
20	510,6	475,8	451,7	430,9	420,1	483,4	462,1
25	481,9	428,7	418,8	494,7	458,2	463,6	457,7
30	503,5	391,7	393,9	448,8	496,4	431,1	444,2
35	491,6	375,7	364,2	479,6	453,5	429,7	432,4
40	472,5	348,3	357,3	419,9	464,6	405,2	411,3
45	467,3	355,4	388,2	428,6	412,3	401,5	408,9
50	476,8	343,7	344,2	296,7	463,2	449,7	395,7
55	457,9	368,3	327,3	228,6	443,2	396,8	370,4
60	436,9	325,4	338,2	278,5	455,7	386,8	370,3
65	413,6	300,8	313,2	250,5	432,6	396,8	351,3
70	396,1	287,6	298,4	280,5	382,4	356,6	333,6
75	385,8	296,1	354,6	371,7	351,1	336,6	349,3
80	365,6	273,2	339,3	394,2	312,3	309,6	332,4
85	347,6	254,9	340,1	373,5	294,1	296,4	317,8
90	334,3	230,5	329,5	347,3	280,1	287,4	301,5
95	304,6	225,5	362,1	326,9	275,4	263,3	293,0
100	296,3	235,6	345,7	317,8	256,5	251,9	284,0
105	278,6	238,9	324,6	305,9	245,8	246,5	273,4
110	250,3	216,8	312,8	287,7	238,4	239,8	257,6

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Tabla 19-5 (Continuación): Tiempo y temperaturas del carbón vegetal encendido tipo brasa (1,5 lb)

Tiempo[mm]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	Prom
115	235,5	200,4	294,1	267,9	229,5	255,3	247,1
120	214,7	210,5	286,1	245,7	219,8	214,5	231,9
125	209,9	186,2	262,9	238,9	206,2	204,4	218,1
130	186,5	156,7	248,4	212,8	193,5	198,7	199,4
135	156,8	132,7	237,1	186,3	174,9	162,9	175,1
140	123,8	111,6	199,5	145,8	153,8	134,8	151,5
145	98,1	86,5	184,2	138,8	148,9	145,2	133,6
150	85,2	71,9	145,8	112,8	127,5	135,2	113,1
155	68,2	58,2	121,4	103,6	108,8	123,9	97,4
160	55,2	34,2	78,5	92,8	98,3	98,5	76,3
165	37,8	25,1	52,6	81,3	76,8	74,9	53,4
170	21,7	17,2	43,1	56,7	58,2	81,5	46,4
175	8,5	13,6	23,7	31,8	34,1	54,3	27,7

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

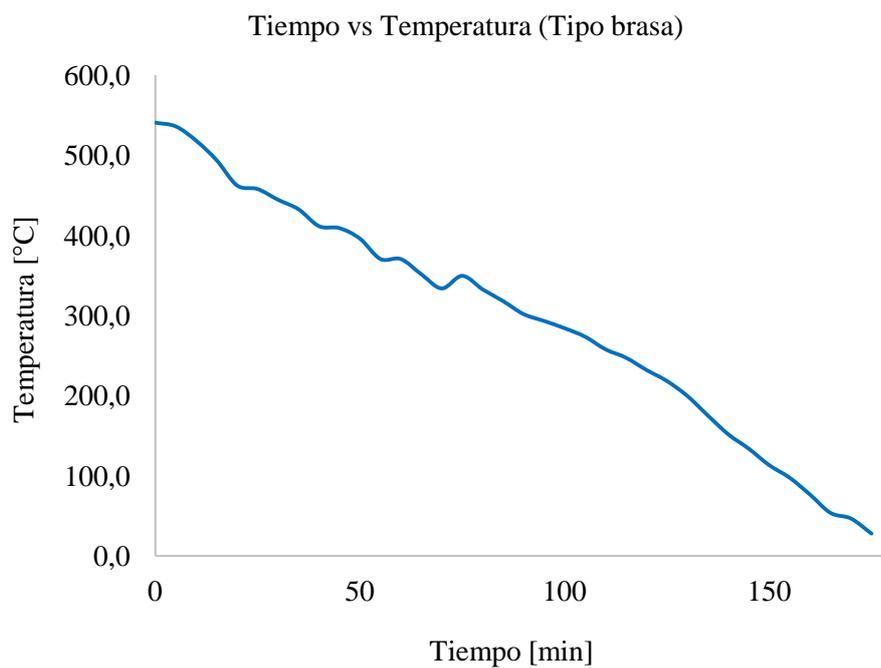


Gráfico 12-5: Curva Tiempo vs Temperatura del carbón vegetal encendido tipo brasa (1,5 lb)

Fuente: Autores

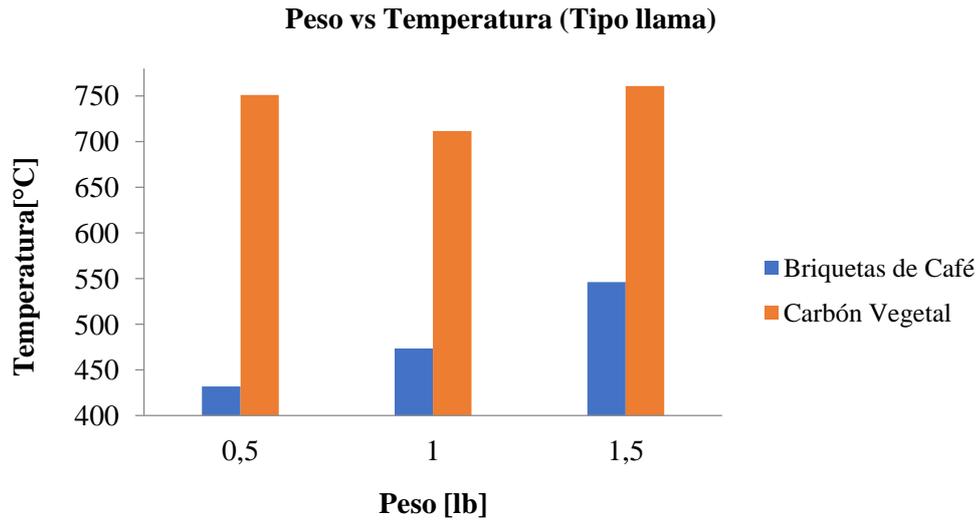


Gráfico 13-5: Temperaturas y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo llama

Fuente: Autores

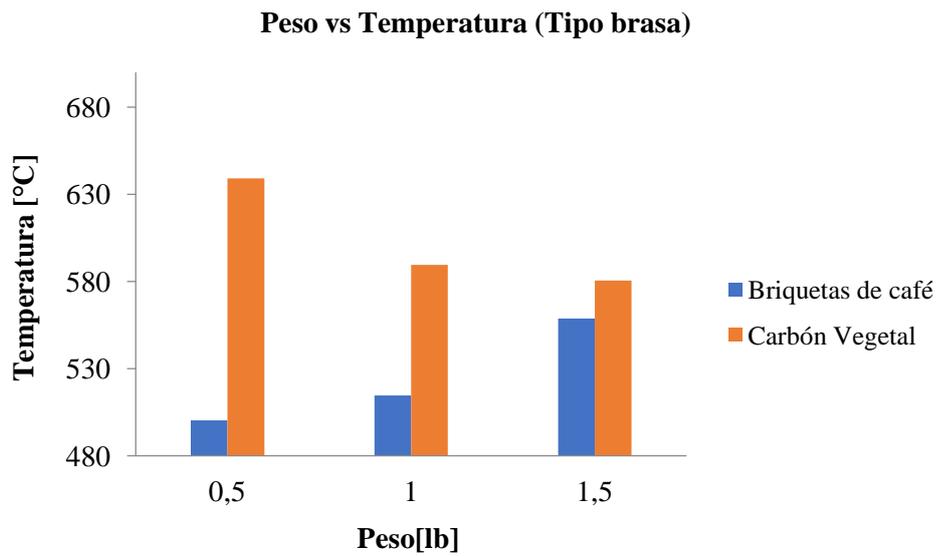


Gráfico 14-5: Temperaturas y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo brasa

Fuente: Autores

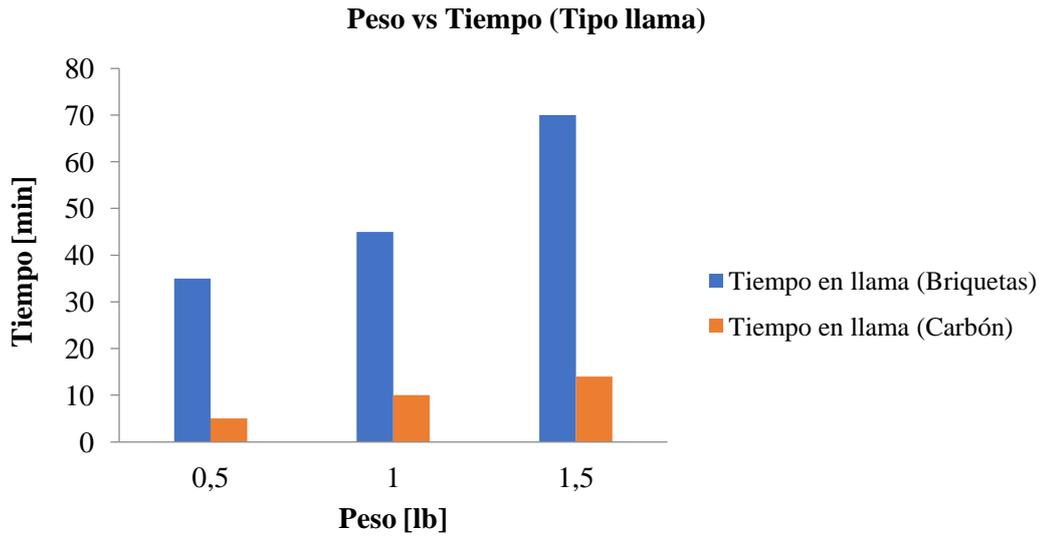


Gráfico 15-5: Tiempos y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo llama

Fuente: Autores

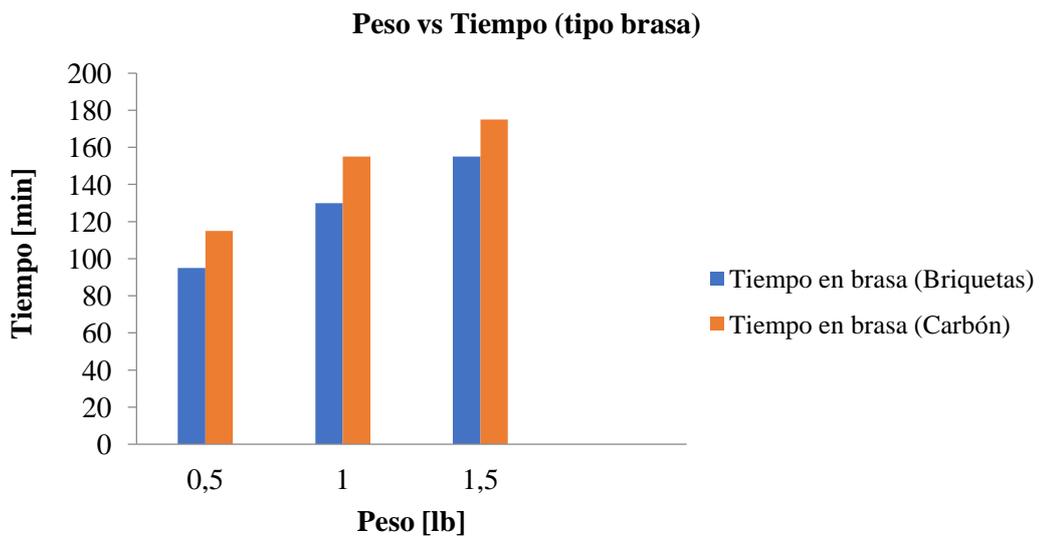


Gráfico 16-5: Tiempos y pesos de las briquetas de borra de café y carbón vegetal encendido tipo brasa

Fuente: Autores

Posibles aplicaciones de las briquetas de borra de café

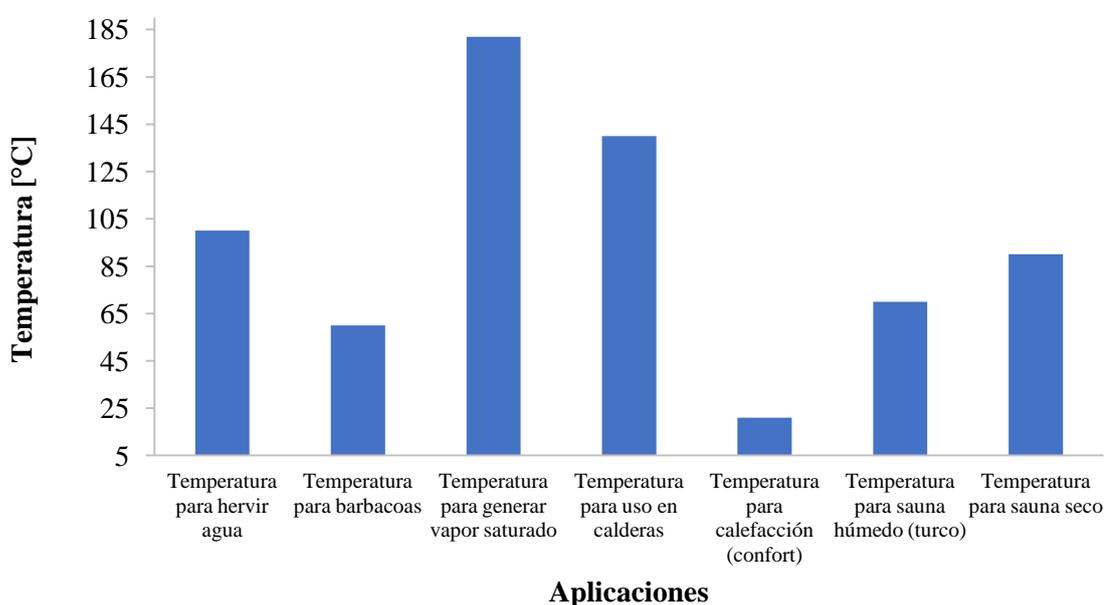


Gráfico 17-5: Posibles aplicaciones de las briquetas de borra de café según su temperatura de funcionamiento.

Fuente: Autores

5.6 Determinación del costo de las briquetas.

La teoría para establecer el precio de un producto o servicio es la siguiente:

$$\text{costos fijos} + \text{costos variables} = \text{suma de costos fijos y variables} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\frac{\text{suma de costos fijos y variables}}{\text{producción total estimada}} = \text{costo por unidad de producción} \quad \text{Ec. (9)}$$

Tabla 20-5: Costo de productos y servicios para elaborar briquetas de residuos de café

Costo fijo		Costo variable	
Producto/servicio	Costo	Producto/Servicio	Costo
Energía eléctrica	\$ 0,08kW/h	Residuos de café	0
Agua	\$ 0,48/m ³	aglutinante (almidón de yuca)	\$ 0,65 (una funda de 500 g)

Realizado por: Darwin Analuisa, Edison Hernández. 2017

Fuente: Autores

Para el suministro de aire comprimido se tiene un compresor de 1HP y el tiempo de funcionamiento de 2 horas por lo que se estima un costo de energía eléctrica aproximado de \$0,15/diarios, el agua es suficiente un metro cubico con un costo de \$0,48/m³, los residuos de café según la encuesta realizada no tiene algún costo ya que la mayoría de las cafeterías desechan y el costo de aglutinante en este caso almidón de yuca de una funda de 500 g es \$0,65 que para cubrir los 31,9 lb de residuos de café diarias que desechan es necesario 9 fundas llegando a obtener un costo \$5,85. Sumando los costos fijos y los variables se obtiene un valor de 6,48 dólares.

A continuación, aplicaremos la formula para conocer el precio por unidad del producto.

$$\frac{\textit{suma de costos fijos y variables}}{\textit{producción total estimada}} = \textit{costo por unidad de producción}$$

$$\frac{\$ 6,48}{340} = \$ 0,019$$

El costo por unidad es \$0,019, una libra de briquetas contiene 12 unidades por lo tanto la libra cuesta alrededor de \$ 0,228 se estima un 30% de utilidades por lo tanto el precio final de la libra de briquetas es de aproximadamente \$ 0,30 llegando a ser un costo accesible y competitivo con el precio del carbón vegetal.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

- Se concluye que la mezcla adecuada en porcentaje de materia prima para la elaboración de briquetas es de residuos de café 72,68%; aglutinante (almidón de yuca) 12,82% y agua 14,5%, además se requiere una presión óptima de 2,77 MPa., este resultado fue obtenido mediante pruebas de compactación de los residuos de café en el laboratorio de resistencia de materiales de la ESPOCH, este valor de presión obtenido permite calcular y determinar la fuerza del actuador neumático para la fabricación de la máquina briquetadora.
- Teniendo en cuenta el diseño de la máquina se procedió a modelar la estructura y luego de un análisis estructural en el programa ANSYS en base al criterio de Von Mises, el mismo que nos permitió determinar su deformación máxima y su factor de seguridad, obteniendo así unos resultados de $1,61e^{-6}$ [mm] en deformación máxima en la base de los moldes de la briqueta y un valor de 4,54 como factor de seguridad mínimo en la estructura.
- En cuanto a la forma de las briquetas se adoptó una configuración cilíndrica maciza ya que es una de las formas más óptimas, estas briquetas tienen las siguientes dimensiones geométricas; diámetro de la briqueta de 47 mm, longitud de la briqueta 50 mm.
- Al fabricar las briquetas de borra de café con aglutinante se seleccionó el almidón de yuca el mismo que permite mayor adherencia entre partículas de café y además es un producto orgánico que no produce contaminación ambiental.
- Las briquetas secadas al aire libre requieren un tiempo mínimo de 8 días, en este tiempo de secado se puede obtener una humedad de 9,12% ya que este parámetro es uno de los importantes para fabricar briquetas cabe recalcar que el mismo que está dentro del rango permitido (8-15%), además al dejar secar al aire libre se puede observar pequeños agrietamientos en las mismas esto es causado porque la borra de café contiene pequeñas cantidades de aceite de café por lo cual no permite la adecuada adherencia entre la borra y el aglutinante.
- El poder calorífico bruto obtenido de las briquetas de borra de café se calculó de 17,21 MJ/kg mediante la bomba calorimétrica (resultado experimental) mientras que aplicando la ecuación de energía de alimentos se obtiene 17,62 MJ/kg (resultado teórico), obteniendo un error porcentual de 2,33 % entre estos valores, por lo tanto, si son consideradas como

briquetas ya que cumplen con el poder calorífico mínimo necesario de acuerdo a la norma NTC-2060.

- La resistencia al aplastamiento de las briquetas las cuales están en función del peso de las mismas, estas presentan un valor promedio de 24,24 Kgf (237,74N), este valor no es permitido por la norma NTC-2060, debido a que las briquetas ensayadas tienen un peso aproximado de 40 g/briqueta y el valor requerido para este peso es de 60 Kgf (588,6 N), por lo tanto, las briquetas obtenidas no cumplen con este requisito, pero si pueden ser apiladas o almacenadas hasta un valor de 24 Kgf.
- Las briquetas obtenidas presentan un poder calorífico de 17,21 MJ/kg por lo tanto se puede concluir que estas briquetas si son un sustituto del carbón vegetal debido a que el mismo presenta un poder calorífico superior de 32,8 MJ/kg.
- Se realizaron ensayos de incineración de las briquetas de borra de café y del carbón vegetal, determinando los tiempos que tardan encendidos tipo llama y brasa, estos ensayos fueron realizados con un peso de 0,5; 1 y 1,5 lb, obteniendo como resultado mayor tiempo de incineración tipo llama en las briquetas que en el carbón vegetal, en cambio en el estado de brasa es más eficiente el carbón vegetal que las briquetas de residuos de café. (Ver sección 5.3.5)
- En vista que este tipo de briquetas si es un posible sustituto del carbón vegetal y mediante la obtención de datos de tiempo y de temperatura del proceso de incineración tipo llama y brasa estas pueden ser aplicadas en: calefacción, asaderos, hervir agua, generar vapor, sauna húmedo y seco, etc.
- Las briquetas obtenidas supera a ciertos biocombustibles tales como el bagazo húmedo, paja seca de trigo, paja seca de cebada, viruta seca, cáscara de trigo, cortezas de caña, etc., también las briquetas de borra de café se encuentran a un mismo nivel de poder calorífico como cáscara de trigo, cascarilla de arroz, residuo de maíz, briquetas de aserrín, briquetas de cascarilla de arroz e inferior a otros biocombustibles residuo de maíz, corteza de pino, bagazo seco, tallos de café, etc.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir realizando la investigación debido a que falta determinar si el gas producido al incinerar este producto es contaminante para el medio ambiente; para lo cual es necesario realizar pruebas de análisis de gases de transmisión en concentraciones másicas tales como: CO₂, CO, O, NOX.
- Se sugiere realizar la colocación de resistencias en los moldes de la máquina briquetadora, con el fin de obtener briquetas de borra de café más eficientes y sin la utilización de aglutinante para así realizar la comparación de poderes caloríficos y resistencia al aplastamiento con las briquetas obtenidas en este estudio.
- En vista que las briquetas obtenidas en este estudio tienen un poder calorífico moderado se recomienda realizar el aumento de presión y la reducción de aglutinante con el fin de obtener y comparar el poder calorífico con el de este estudio.
- Con el fin de reducir el tiempo de secado se recomienda colocar las briquetas de borra de café en un horno a temperatura de 90°C y durante un tiempo de 24 horas, lo cual permitirá obtener mayor cantidad de briquetas.
- Se recomienda revisar las conexiones neumáticas, para evitar la fuga de aire comprimido y disminuir las pérdidas de presión en la línea antes de realizar la compactación de la materia prima.
- Se sugiere implementar un sistema de alimentación de la mezcla en los moldes de la máquina ya esto se lo realiza manualmente provocando desperdicios de materia prima y aumentando el tiempo de producción de briquetas.
- Se recomienda leer el manual de funcionamiento y mantenimiento para una correcta utilización de la máquina.
- Se debe desarrollar un banco de pruebas para la combustión de briquetas de forma directa.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE.J.** *Fabricación de briquetas de carbón.* Guayaquil- Ecuador: Cendes, 1982. pp. 3
- BLANCO.E.** *Metodología para el diseño de máquinas.* Barcelona-España: Edeicions UPC, 2015, pp. 25-26.
- CABRAL DE SOUSA, J; et al.** *Produção de briquetes epéletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais.* Brasilia-Brasil : Embrapa Agroenergia, 2012. pp. 82-96.
- CALDERÓN BARRIGA Juan Antonio; & PARRA MENA, Juan Carlos.** *Estudio de aglomerantes para obtención de briquetas de carbón vegetal* (Trabajo de titulación) (Ingeniero) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 1998.pp. 34 67 [Consulta: 2017-07-23]. Disponible en: dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1740/1/85T00188.pdf
- CAMPS, Manuel; & MARCOS, Francisco. 2008.** *Los biocombustibles.* 2ª ed.. Madrid-España: Ediciones Mundi-Prensa, 2008. pp.137-168.
- CENICAFÉ.** *Los subproductos del café: fuente de energía renovable.* [en línea], 2010 (Colombia), pp. 4-8 [Consulta: 25 mayo 2017]. Disponible en: [/http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393](http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393) .
- CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL. CESTTA,** *Informe de Análisis Químico.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Facultad de Ciencias. Riobamba-ecuador, 2017. pp. 1.
- CHELICORP.LTD.** *Chelic pneumatic equipments.* vol 1-6 (2015),(Taipei-Taiwan) pp. 19-45-85
- CROSS, N.** *Métodos de Diseño: Estrategias para el diseño de máquinas.* Mexico-Mexico D.F: Limusa Wiley, 1999. pp 34-38.
- DE LUCAS, Ana; & et al.** *Biomasa, Biocombustibles y Sotetibilidad.* Madrid-España: ITAGRA.CT, 2012. pp. 21-31-34.
- De Souza Soares, Larisa, & otros.** *Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades.* REVISTA MATERIA, nº20-02 (2015) (Sorocaba-Brasil)pp. 550-560.
- DELGADO, Pablo, & el al.** *Informe de Terminación de Proyecto.*vol 1. Cali-Colombia: FERIVA S.A., 2002. pp. 23 65.
- DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGIA YCONTAMINACION. DPEC.***Informe de resultados de biueqtas de borra de café.* Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador, 2017. pp. 1.
- DEPARTAMENTO FORESTAL DE LA FAO.** *Datos y cifras globales de productos forestales.* Roma-Italia: División de Economía, Políticas y Productos Forestales FAO, 2012.pp. 11-15.

ECUARED. *Almidón* [en línea], 2015, [Consulta: 28 junio 2017]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Almid%C3%B3n>

FONSECA CUENCA Edison Geovanny; TIERRA TINGO Luis Fernando. *Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre*. (Trabajo de titulación) (Ingeniero) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 1998.pp. 34 67 [Consulta: 2017-05-23]. Disponible en: <dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/402/1/12T00809.pdf>

GANDUGLIA, Federico, & et al. *Manual de Biocombustibles*. Lima-Perú: ARPEL IICA, 2009. pp.24-25.

GLADSTONE.Scott, & et al. *Targeting briquetting as an alternative fuel source in tanzania*. *ELSEVIER*, vol 1, n°78 (2014),(United State of America) pp. 3-5.

IBÁÑEZ, Miranda; & et al. *Procedimiento de preparación de briquetas combustibles sin humo con carbón y biomas*. n°. 2 183 706 *BI*(Escrita) [1 de Julio de 2004]. Madrid-España,pp.2-3.

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. INER. *Análisis de las oportunidades de I+ D+ ien eficiencia energética y energías renovables en el Ecuador*. Quito,2016, pp.42-44

JANCZAK, J. *Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos* [en línea].Nairobi: FAO, 1981[Consulta: 10 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/p2070s/p2070s06.htm>

MADRUGA, E. *Combustibles sólidos de baja densidad.(Primera parte)*. [en línea].Cuba: 1981[Consulta: 17 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>

MANUALES,Bajatec.net. *Briquetas de biomasa caseras II. La prensa* [en línea], 2012[Consulta: 10 junio 2017]. Disponible en: <http://www.bajatec.net/energia-produccion-conservacion-almacenaje/briquetas-de-biomasa-caseras-ii>

MICROAUTOMATIZACIÓN. *Cilindros neumáticos*.vol 2, n°1(2014), (Argentina) pp. 1-2.

NERGIZA, A. *Cómo se calcula la energía de los alimentos* [en línea], 2015, [Consulta: 28 septiembre 2017]. Disponible en: <https://nergiza.com/como-se-calcula-la-energia-de-los-alimentos/>

NTC-2060 . *Briquetas combustibles oara uso doméstico*. vol. 1,(1987), (Colombia),. pp. 4-6.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. FAO. *El mercado de almidón añade valor a la yuca* [en línea].Brasil: Departamento de agricultura y proiteccion del consumidor FAO, 2006 [Consulta: 28 de junio 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.htm>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. FAO. *Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación (befsa) briquetas.* Roma Italia:FAO, 2014, pp. 20.

OVIEDO, N. *Aglutinante usar para briquetas* [en línea], 2015, [Consulta: 25 junio 2017]. Disponible en: <http://www.todoexpertos.com/preguntas/68coo3i6x8xh7rgs/que-aglutinante-usar-para-briquetas-ii>

P.D.Grover & S.K.Mishra. *Biomass briquetting technology and practices.* Bangkok, Thailand: FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia, 1996. pp. 7-19.

PELÁEZ, Manuel ; & ESPINOZA, Juan. *Energías renovables en el Ecuador situación actual, tendencias y perspectivas.* Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca, 2015, pp.9-27.

PROEcuador. *Análisis sectorial del café. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones.* [en línea] Abril de 2013. [Citado el: 16 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.proecuador.gob.ec/institucional/areas/inteligencia-comercial/>.

RIBBA, C. . *Diseño Concurrente.* Barcelona-España: Edicions UPC, 2002, pp.45-67

RODRIGUEZ, Nelson; & ZAMBRANO, D. *Los subproductos del café:fuentes de energía renovable.* Chinchiná,Caldas-Colombia: CENICAFÉ, 2010. pp. 4.

RUÍZ, Arturo; & ROJAS, Falcó. *Despliegue de la función de calidad (QFD).* Madrid-España: Uni, 2009, pp. 32.

SANCHEZ, Teresa; & ARISTIZABAL, Johanna.. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.* [En línea]. ROMA-Italia: FAO, 2007, [Consulta: 20 junio 2017]. pp. 44-48. Disponible en: www.fao.org/docrep/010/a1028s/a1028s00.htm

VISITAECUADOR. *Riobamba/ Cafeterías* [en línea], 2015, [Consulta: 30 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=512&idServicio=7>